

ROBOTTISOLULINJAN SÄHKÖAUTOMAATIOSUUNNIT- TELU

Varkki Olli

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinööri (AMK)

Tekijä	Olli Varkki	Vuosi 2016
Ohjaaja	DI Jaakko Etto	
Toimeksiantaja	Ginolis Oy	
Työn nimi	Robottisolulinjan sähköautomaatiosuunnittelu	
Sivu- ja liitesivumäärä	51 + 2	

Tässä työssä toteutettiin Ginolis Oy:lle modulaarisen robottilinjan automaatio-osan sähköinen suunnittelu. Työn kohteeksi rajattiin laitteen sähköistys- ja instrumentointikaapelointi sekä tehosuunnittelu. Lisäksi työssä toteutettiin ohjeistus ja työkalut robottiloinjan moduulien HW-suunnitteluun. Työ tehtiin CADS-suunnitteluohjelmalla ja Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Ginolis Oy:n robottilinjat ovat olleet perinteisesti asiakkaan vaatimuksien mukaan rakennettuja kokonaisuuksia. Liikevaihdon laajentaminen ja ajan myötä kertynyt tietotaito mahdollistavat yrityksen toiminnan siirtymisen kohti sarjatuotantoa. Olemassa olevat tekniset ratkaisut ja uudet kehitteillä olevat laitteet täytyy muuttaa moduulipohjaisiksi rakennuspalasiksi robottilinjastojen kokoonpanoa nopeuttamaan. Hyöty saadaan nopeatuneesta suunnitteluajasta ja tuotannon puolella voidaan moduuleita kasata valmiiksi varastoon.

Haasteena suunnittelussa ovat asiakkaiden erilaisten vaatimusten perusteella rakennetut eriävät versiot samoista laitteista ja asiakkaiden kohdemaiden eriävät viranomaisvaatimukset sähkölaitteiden rakentamiselle. Työ tehtiin löyhästi määritellyssä suunnitteluympäristössä suunnitteluohjelmalla, joka ei ole yhteen sopiva mekaniikkaosaston käyttämän ohjelmiston kanssa.

Työssä valmistettiin yrityksen käyttöön robottilinjan modulaarinen sähkökuva-hierarkiamalli. Robottilinjaston kuvat voidaan koota moduulitason peruskuvista ja piirtämällä solurakenteiden tuoteprojektikohtaiset kytkentäkaaviot. Robottiso-lun sähkönjakelun mitoittamiseen valmistui tehon mitoitusmalli, jolla voidaan var-mistaa sähkön syöttö ja sen kaapelointi robottisolussa ja solulinjassa. Tuotteen määrittelyyn valmistui BOM-luettelon malli, jota käytetään komponenttien oston ja sähkökuvien luettelon laatimisen apuna.

Avainsanat	robottisolu, automaatio, modulaarinen sähkösuunnittelu
------------	---

Industry and Natural Resources
Electrical Engineering
Bachelor's Degree

Author	Olli Varkki	Year 2016
Supervisor	M.Sc. Jaakko Etto	
Commissioned by	Ginolis Ltd.	
Subject of thesis	Electrical and automation design of the manufacturing robot line	
Number of pages	51 + 2	

An electrical automation design of the modular robot line has been developed in this thesis project. The focus of this work has been on the power and instrumentation cabling design of the line. In addition to the electrical design of the robot line, the modular design process has been developed and documented. Furthermore, tools have been generated for the line module power design. The design work has been done in the CADS electrical design environment, and Excel spreadsheet program has been used to create the calculation tools for the modular design of the HW.

Up to today the robot lines of the Ginolis Ltd. have been tailor made for the end customers specifications. The growth of business, and the accumulated know how on the customers' needs, opens a new door for the mass production of the robot modules. This requires that the existing designs are converted to modular units and all new designs at the design phase are directly designed into modular units. Thus the assembly of the robot lines can be accelerated by manufacturing modules beforehand to the stock, while new purchases are pouring in.

The fact that each customer is using slightly different specifications, and the fact that safety regulatory requirements are country specific, pose the greatest challenges to the electrical design of the robot lines. So far this has led to re-design of the existing HW with more or less unoptimized end results. The design challenges are coming from undefined design process at the house together with noncompatible design SW between the automation and mechanics teams.

A modular wiring schematic model has been generated for the robot cell module design in this thesis project. The robot line electrical design can be generated by combining the existing module schematics with robot line specific assembly drawings. The power calculation tool has been created for checking the robot line power supply generation and wiring. The BOM list model has been created to utilize the existing module BOM-lists at the robot line BOM and drawing lists generation.

Key words robot line cell unit, automation, modular electrical design

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 GINOLIS OY	9
2.1 Yrityksen historia ja tuotteet	9
2.2 Yrityksen suunnitteluprosessit	10
2.2.1 Mekaniikkasuunnittelu	10
2.2.2 Sähkö- ja automaatio suunnittelu	11
2.2.3 Käytetyt suunnitteluohjelmistot	12
2.2.4 Protojen valmistaminen ja testaaminen	12
2.3 Asiakasprojektit	13
3 SYSTEEMIVAATIMUKSET AUTOMAATIOSUUNNITTELUSSA	14
3.1 Tuotteen elinkaari	14
3.2 Sähköjärjestelmät	14
3.2.1 Liityntä tehtaan verkkoon	15
3.2.2 Tuotteen sisäinen sähkönjakelu ja suojaukset	16
3.3 Maadoitus	17
3.4 Tehosuunnittelu	19
3.4.1 Segmenttikohtainen teho	19
3.4.2 Johtimien mitoitus	21
3.4.3 Tuuletuksen mitoitus	21
3.5 Ohjausväylät	22
3.5.1 Ethernet	23
3.5.2 EtherCat	23
3.5.3 CAN	24
3.6 Konenäkökamerat	24
3.6.1 Prosessin ohjaus	24
3.6.2 Laaduntarkkailu	25
3.6.3 Kameroiden vaatimuksia	25
3.6.4 Valaistuksen vaatimuksia	25
3.7 Käytetyt moottorit	26
3.7.1 Harjattomat DC-moottorit	27
3.7.2 Lineaarimoottorit	27
3.7.3 Voice Coil -moottorit	29

3.8	Turvalogiikka.....	30
3.8.1	Suoritus- ja luotettavuustasot.....	30
3.8.2	Toimintaankytkentälaitteet.....	31
3.8.3	Turvalogiikan toteutus	32
4	SUUNNITTELUN TULOKSIA	33
4.1	Tehon mitoitus	33
4.1.1	Kuormatransientti	35
4.1.2	Tuuletus	36
4.2	Kameran valaisu	37
4.3	Työssä syntyneet kuvat	38
4.3.1	Linjan kokoonpano	40
4.3.2	Robottisolun kokoonpano.....	41
4.3.3	Applikaatiosolun kokoonpano.....	43
4.3.4	Moduulin kokoonpano	44
4.4	Kaapeleiden valinta	45
4.5	Osaluettelot.....	47
4.6	Jatkotoimenpiteiden ehdotuksia.....	48
5	POHDINTA.....	49
	LÄHTEET.....	50
	LIITTEET	51

ALKUSANAT

Haluan kiittää Ginolis Oy:tä mielenkiintoisesta lopputyön aiheesta. Automaatiotiimin vetäjää Jarmo Paloviitaa kiitän työn ohjaamisesta. Automaatioinsinööri Panu Rikulaa kiitän perehdyttämisestä yrityksen automaatiosuunnittelun luonteeseen ja kärsivällisestä kommentoinnista ja ohjauksesta työn aikana.

Kiitän työn ohjaaja DI Jaakko Ettoa lopputyön kirjoittamisen ohjaamisesta.

Lopuksi kohdistan lämpimimmät kiitokseni vaimolleni Essi Varkille tuesta ja ymmärtämisestä lopputyön tekemisen aikana.

Oulussa 20.5.2016

Olli Varkki

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

BOM	Bill Of Material, osaluettelo
CAD	Computer Aided Design, suunnitteluohjelma
CAT6	Kategorian 6 tasoinen parikaapeli
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EY	Euroopan yhteisö
FELV	Functional Extra Low Voltage,
MTTF	Mean Time To Failure, keskimääräinen viottumisaika
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka.
HW	Hardware, laitteisto
SW	Software, ohjelmisto
PCB	Printed Circuit Board, piirilevy
PE	Protective Earth, suojamaajohdin
PELV	Protective Extra Low Voltage
PL	Performance Level, suoritustaso
SELV	Separated Extra Low Voltage,
USB3	Universal Serial Bus versio 3.0
VAC	Voltage Alternating Current, vaihtojännite
VDC	Voltage Direct Current, tasajännite

1 JOHDANTO

Ginolis Oy valmistaa tuotantoautomaatio laitteita life science -teollisuuden valmistuslaitoksille. Tyypillisesti tuotantolaitte koostuu useammasta itsenäisestä kappaleen käsittelyosamoduulista, jotka on integroitu yhdeksi toiminnalliseksi tuotantolinjaksi. Lifescience-teollisuuden tuotteet ovat yleensä hyvin pieniä fyysisiltä mittasuhteiltaan, kappaleen käsittelyssä tarvitaan erityisosaamista hienomekaniikasta ja mikronesteiden käsittelystä.

Työssä toteutetaan uuden tuoteperheen prototyypin tuotekehitysprojektissa automaatio-osan modulaarinen sähköinen suunnittelu. Olemassa olevat ratkaisut ovat muutosprosessissa, missä laitteet muunnetaan toiminnallisista moduuleista koostuviksi yksiköiksi. Laitteiden olemassa olevat sähköiset suunnitelmat muokataan kuvaamaan mekaanisten osien perusteella tapahtuvaa jakoa toiminnallisiin moduuleihin. Lisäksi uusien toimintojen suunnittelua varten laaditaan ohjeistus sähköautomaation suunnitteluun.

Työ tehdään yhteistyössä mekaniikka- ja ohjelmisto-osastojen kanssa uuden robottisolun prototyypin käytännöllisen ja toimivan kokonaisratkaisun löytämiseksi.

Työ rajataan prototyypin sähköistuksen ja ohjausjärjestelmän HW-ratkaisuihin, SW-suunnittelu ja anturoinnin toteutus jäävät työn ulkopuolelle.

2 GINOLIS OY

2.1 Yrityksen historia ja tuotteet

Ginolis Oy on perustettu 2010 suunnittelemaan ja valmistamaan automaatio- ratkaisuja lääke- ja diagnostiikkateollisuuden tarpeisiin. Yhtiö on kasvanut voimakkaasti organisaation ja harkittujen yritysostojen avulla, 2016 töissä on yli 70 henkilöä kolmella eri paikkakunnalla (Kuvio 1). Liikevaihto oli 5,5 M€ vuonna 2015 ja vuodelle 2016 on budjetoitu liikevaihdon kaksinkertaistuminen liki 10 M€:oon. Tärkeimpiin asiakkaisiin lukeutuvat ThermoFisher Scientific, Trinity Biotech, illumina, Fiomi, Alere, Tandem Diabetes Care, Response Biomedical ja Scibase (Ginolis Ltd. 2016.)



Kuvio 1. Ginolis Oy historiallinen kehitys (Ginolis Ltd. 2016).

Yhtiön pääkonttori, tuotekehitys ja valmistus sijaitsevat Oulunsalossa. Uppsalan ja San Diegon toimipisteet ovat pienempiä yksiköitä keskittyen nesteenkäsittely- tekniikkaan ja asiakastukeen. Oulunsalossa toimii myös samaan konserniin kuuluva Ginolis Tools Oy, joka valmistaa koneistamalla robottisolujen mekaniikka- kaasia. Yhtiöt sijaitsevat samassa rakennuksessa. (Ginolis Ltd. 2016.)

Yhtiön tärkein tuote on valmistuslinjojen nesteenkäsittelyn ja pakkausautomaatio- suunnittelu ja rakentaminen asiakkaiden tarpeiden mukaan. Lisäksi yhtiö tarjoaa ratkaisuja valmistusprosessien kehittämiseen, tuotannon automaatioon ja kertakäyttötarvikkeiden valmistukseen. (Ginolis Ltd. 2016.)

Valmistuslinjat suunnitellaan sijoittamalla erilaisia toimintoja suorittavia funktionaalisia moduuleita yhteen. Moduulit ovat muokkautuneet tuotekehityksen edetessä ja niiden toiminta perustuu voimakkaasti hienomekaanisiin ratkaisuihin kappaleiden käsittelyssä ja konenäön hyödyntämiseen prosessien ohjauksessa ja laadun valvonnassa. Erytisosuamista yhtiöllä on lisäksi hyvin tarkasta pienten nestemäärien käsittelystä, käsiteltävät nestemäärät mitataan nanolitroissa. Yhtiöllä on ratkaisut nesteiden annosteluun hyvin pienillä määrillä ja näytteiden pipetointiin laajalla annostelualueella. (Ginolis Ltd. 2016.)

2.2 Yrityksen suunnitteluprosessit

Yrityksessä on käynnissä sekä tuotekehitys- että asiakasprojekteja. Tyypillisen start-up -yrityksen tapaan toiminta on alkuaikoina painottunut asiakasprojekteihin, rahoituksen tullessa suurimmaksi osaksi toimitetuista tuotteista. Voimakkaan kasvun ansiosta on yritys nyt vaiheessa, jossa voidaan harkitusti erottaa varsinainen tuotekehitys ja asiakasprojektit toisistaan.

Keväällä 2016 on yrityksessä käynnistynyt projekti tuotekehityksen suunnittelu-prosessin kuvaamiseksi.

2.2.1 Mekaniikkasuunnittelu

Mekaniikkasuunnittelusta vastaa yrityksen oma mekaniikkaosasto. Tuotteiden mekaniikkaosien suunnittelijat voivat työpäivän aikana käydä adhoc-palavereja Ginolis Tools Oy:n koneistajien kanssa optimaalisten mekaanisten ratkaisujen ja osien työstettävyyden saavuttamiseksi.

Toinen suunnitteluprosessin kulmakivi on protopajassa tapahtuva jatkuva uusien osien ja ratkaisujen koestaminen. Uusia mekaniikkaosia saadaan jopa saman päivän aikana koneistamolta suoraan testeihin. Tuotekehityksessä yhdistetään sujuvasti tietokoneavusteinen suunnittelu ja käsin tekemisen parhaat puolet.

2.2.2 Sähkö- ja automaatio suunnittelu

Tähän päivään asti tuotteiden sähkösuunnittelu asiakasprojekteissa on painotunut täyttämään eri kohdemaiden viranomaisvaatimuksia. Samasta tuotteesta on eri kohdemihiin jouduttu suunnittelemaan omat versionsa. Yrityksessä on käynnistynyt tuotekehityksen kehitysprojekti mahdollisimman laajakäyttöisten ratkaisujen löytämiseksi. Asiakaskohtaisia muutoksia vakiomoduuleihin tarvitaan tulevaisuudessa mahdollisimman vähän.

Automaatio suunnittelun kulku on suoraviivaista. Uuden tuoteprojektin tapauksessa suunnitteluprosessi lähtee liikenteeseen mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa yhteistyössä laadittavasta työkierron kuvauksesta. Tämän jälkeen edelleen yhteistyössä mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa valitaan ratkaisu työnkiertokuvauksen toteuttamiseksi, lopputulokseksi saadaan mekaniikan ja automaation osaluettelot.

Seuraavaksi osto-osasto analysoi osaluettelon ja laatii osto-ohjelman komponenttien saatavuuden perusteella. Automaatio suunnittelija laatii linjan rakennetta kuvaavan osaluettelon avulla sähkökuvien luettelon. Linjassa käytettäville moottoreille, antureille ja muille automaatiokomponenteille valitaan sopivat ohjausratkaisut hyödyntäen PC:tä, PLC:tä ja talon omia moottorinohjauskortteja. Automaation tarpeista voidaan laatia systeemitason laatikkokuvaus helpottamaan komponenttien valintaa.

Anturivalinnat laitteisiin tehdään yhdessä mekaniikkasuunnittelijan kanssa. Yleisimmät anturityypit ovat induktiiviset sylinterianturit, infra puna ja näkyvän aallonpituuden alueella toimivat lähestymisanturit sekä laservalolla toimivat etäisyysanturit. Anturien liitäntä on tyypillisesti joko PNP- tai NPN-tyyppinen, milloin antureiden kytkentään automaatiojärjestelmään tarvitaan kolmikanavainen anturiliinja. Yleensä anturiin on integroitu maa-, käyttö sähkö- ja signaali johtimet, jotka kytketään joko suoraan moottorinohjauskortin anturiliitäntään tai erityiselle IO-kortille. IO-kortit sisältävät myös kaksi napaisia lähtöportteja joilla voidaan ohjata prosessin toimilaitteita.

Sähköiset kytkentäkuvat piirretään hyödyntäen sähkökuvien luetteloa ja moduulien mallikuvia sekä tarpeen vaatiessa laatimalla uusia kytkentäkuvia. Sähköisten komponenttien valinnan jälkeen tarkistetaan niiden tehonkulutuksien ja kaapeleiden pituuksien avulla niille riittävät poikkipinnat.

2.2.3 Käytetyt suunnitteluohjelmistot

Yrityksellä on käytössä sähkösuunnitteluun CADS-suunnitteluohjelmisto yleis- ja kytkentäkaavioiden piirtämiseen. Mekaniikkasuunnittelu tehdään Solidworks CAD-ohjelmistolla, jolla suoritetaan lujuuslaskennat ja selvitetään tarvittavat moottoritehot. Nämä kaksi suunnitteluohjelmaa eivät tue yhteistä suunnittelu-prosessia mekaniikan ja automaation välillä.

Piirilevyt suunnitellaan yrityksessä oman henkilökunnan toimesta Altium PCB-suunnitteluohjelmistolla. Tämä ohjelmisto osaa luoda PCB-suunnitelmista 3D-mallit step-tiedostotyyppiä hyväksi käyttäen. PCB-kortteja on mahdollista sijoittaa osaksi mekaniikan suunnittelua, mikä on suureksi avuksi mietittäessä korttien ulkomuotoa ja liitinporttien sijoittelua.

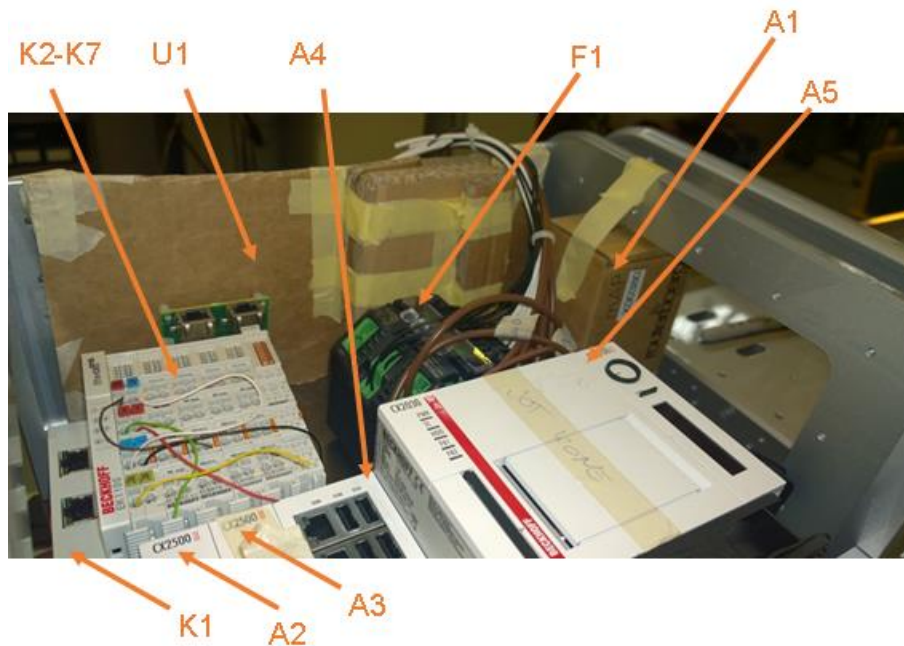
Sähkökaappien kalustamisen suunnitteluun käytetään 3D-suunnitteluohjelmisto Designspark Mechanicsia. Tämä ohjelmisto on yhteensopiva Solidworks ohjelmistojen kanssa ja automaatioinsinöörin suorittaman sähkökaapin suunnittelun jälkeen voidaan kaappi siirtää osaksi mekaanista suunnittelua.

2.2.4 Protojen valmistaminen ja testaaminen

Suunnittelussa periaatteena on uusien ratkaisujen koestaminen prototyypeillä ennen niiden vientiä asiakasprojekteihin. Asiakkaiden tarpeet muuntuvat valmistettavien tuotteiden myötä, uudenlaisille kappaleille tarvittavia manipulointimenetelmiä testataan ensin pilotoimalla ne laboratoriossa teknisten ratkaisujen osalta. Toimivat ratkaisut siirretään lopuksi moduulien rakenteisiin.

Kuvassa 1 esitetään robottisolun ohjausmoduulin layoutin varmennus sijoituspaikassaan: ohjausmoduulissa on kalustettuna olemassa olevat osat ja puuttu-

vista osista on tehty 1:1 pahvimallit. Tällaisen mallin avulla nähdään käytännössä moduulin sisäisen johdotuksen tarvitsemat tilat paremmin kuin käyttämällä pelkästään mekaniikan 3D-suunnitteluohjelmaa. Kyseisessä projektissa tämä proto-malli kokeilun jälkeen komponenttien orientaatio ohjausmoduulissa muuttui alkuperäisestä.



Kuva 1. Ohjausmoduulin sovittaminen soluun oikeiden komponenttien ja 1:1 komponenttien pahvimallien avulla.

2.3 Asiakasprojektit

Tuotekehityksen tuottamia moduuleita ja runkoratkaisuja käytetään hyväksi asiakasprojektien suunnittelussa. Tavoitetilana yrityksessä on jatkossa valmistaa asiakasprojektit mahdollisimman paljon vakiomoduuleita käyttäen. Vakiomoduuleita voidaan myydä jopa sellaisenaan. Käytännössä tarvitaan kuitenkin aina jossain määrin uudelleen suunnittelua asiakkaiden erityistarpeiden täyttämiseksi.

Tässä työssä suunnitellut automaatiomodulit ovat menossa sellaisenaan seuraaviin myytäviin tuotteisiin.

3 SYSTEEMIVAATIMUKSET AUTOMAATIOSUUNNITTELUSSA

3.1 Tuotteen elinkaari

Valmistettaville robottilinjoille taataan 10 vuoden toiminta-aika. Tämä on otettava huomioon komponenttivalinnoissa. Komponentit on valittava joko kestoaltaan 10 vuoden käytön iän mukaan mitoittaen tai lyhemmän käyttöiän komponentteja käytettäessä laitteen huoltosuunnitelmassa on otettava huomioon vaihdettavat komponentit.

3.2 Sähköjärjestelmät

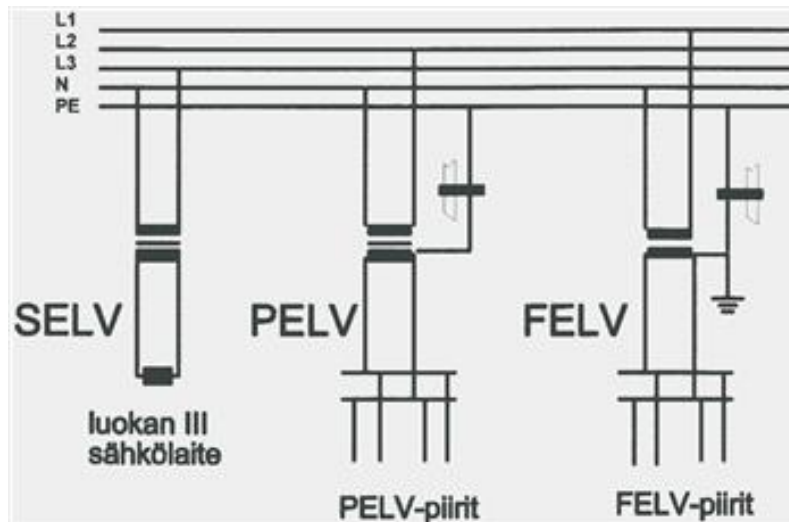
Linjastossa käytetään useita sähköjärjestelmiä rinnan. Pääsääntöinen tarkoitus on sähköturvallisuuden kannalta käyttää pienoisjännitejärjestelmää, jossa pääjännite on 24 VDC. Osa instrumenteista toimii pienemmillä 12 VDC:n ja 5 VDC:n jännitteillä, esimerkiksi erilaiset USB-verkkoon kytkettävät kamerat. Laitteilla on kuitenkin aina syöttävänä järjestelmänä sijoituspaikkansa pienjännitejärjestelmä. Taulukossa 1 on esitelty tyypillisimpiä tuotteeseen liittyviä sähköjärjestelmiä.

Taulukko 1. Tuotteiden jännitejärjestelmiä.

Pääjännite DC-järjestelmässä	Pääjännite kolmivaihe- AC-järjestelmässä	Vaihejännite yksivaihe- AC-järjestelmässä
5 VDC	190 VAC @ 60 Hz	110 VAC @ 60 Hz
12 VDC	400 VAC @ 50 Hz	230 VAC @ 50 Hz
24 VDC	440 VAC @ 60 Hz	255 VAC @ 60 Hz

Sähköturvallisuusvaatimusten mukaan tulee laite suojata sekä perus- että vika-suojauksella. Laitteiden vaihtosähköjärjestelmissä suojaus tapahtuu syötön automaattisella poiskytkennällä. Pienoisjännitteisissä VDC-järjestelmissä sähköturvallisuuden perussuojaus on toteutettu rajoittamalla pienoisjännitteellä sähköenergian määrää. Laitteiden komponentit tulee lisäksi suojata sopivilla ratkaisuilla rikkoontumiselta, tällaisia suojatoimenpiteitä ovat esimerkiksi automaattinen syötön poiskytkentä, jännitteisten osien kotelointi ja lisäpotentiaalin taseus. (SFS-KÄSIKIRJA 600-1 s. 90 – 106.)

Vaihtoehtoisia pienoisjännitejärjestelmiä ovat SELV, PELV ja FELV järjestelmät, kuviossa 2 on esitetty SELV-, PELV- ja FELV-piirien toimintaperiaatteet. Käytännössä SELV järjestelmä ei ole soveltuva, sillä eräät instrumentit tarvitsevat vähintään toiminnallisen maadoituksen. Tuotteet voidaan rakentaa joko PELV tai FELV järjestelmään. (SFS-KÄSIKIRJA 600-1 s. 90 – 106.)



Kuvio 2. SELV-, PELV- ja FELV-järjestelmien periaatteelliset erot. (Sähköinfo Oy 2014.)

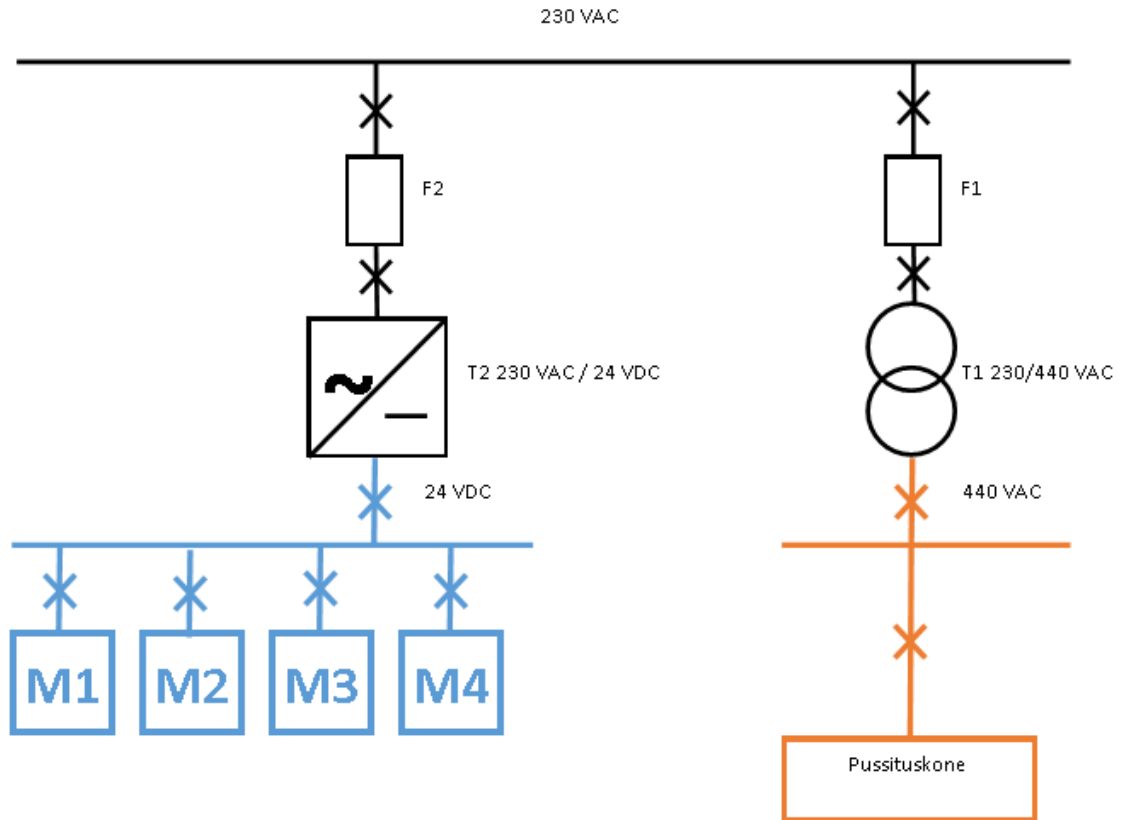
AC järjestelmää käytetään, kun tarvitaan suhteellisen paljon tehoa, esimerkiksi tärpödyt toimivat yleensä 400 VAC pääjännitejärjestelmässä. Harvinaisempi pääjännitejärjestelmä on esimerkiksi pussituskoneen 440 VAC. Erilaisten sähköjärjestelmien kannalta on huomioitavaa sähkösuunnittelun lisäksi pääjännitteen taajuus, mikä asettaa omat vaatimuksensa tehtaan tuotantolinjalle tuotteiden lopputestauksen kannalta.

3.2.1 Liityntä tehtaan verkkoon

Linja liitetään usein suoraan tehtaan sähköjärjestelmään. Tällöin on tarpeen tietää suunnitteluvaiheessa tehtaalla käytetty sähköjärjestelmä. Kuviossa 3 on esitetty tyypillinen sähkön jakelu robottilinjassa.

Suuremmissa laitteissa tuotteen mukana asiakkaalle suunnitellaan myös sähkökeskus, jolla liitytään tehdasverkkoon. Toisena ääripäänä on pieni, kokoluokaltaan pöydälle aseteltava laite, jonka liitännä tehtaan sähköverkkoon tapahtuu

yksinkertaisella irrallisella tehollähteellä. Joka tapauksessa asiakkaan kanssa joudutaan varmistamaan sopivan keskuslähdön saatavuus sijoituspaikassa. Kummassakin tapauksessa on käytössä porrastettu jakelujärjestelmä. (Mäkinen 2009.)



Kuvio 3. Esimerkki tuotteen sähköistyksen jänniteportaista

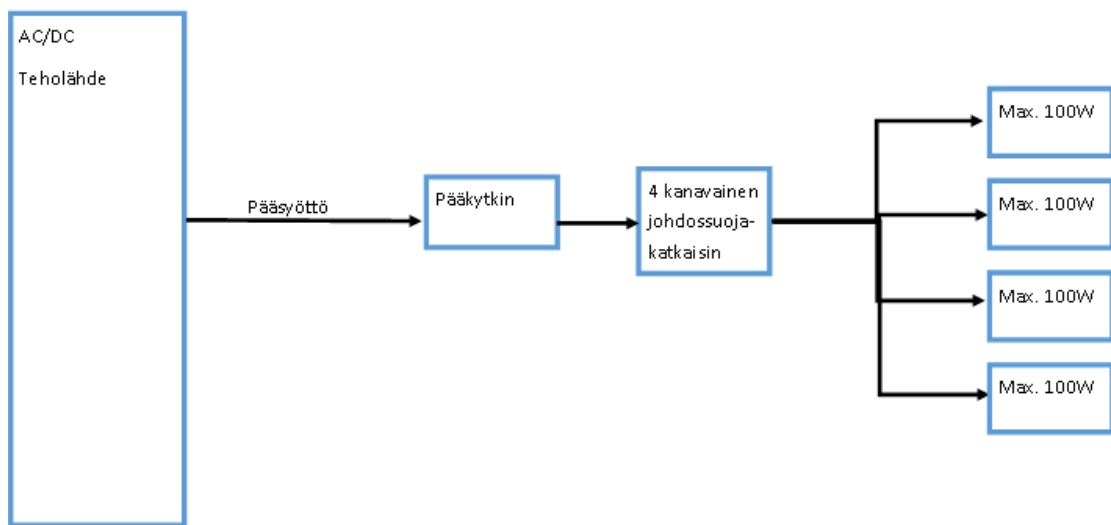
Pienjännitteisille kojeille käytetään kohdemaan viranomaisvaatimusten mukaisia asennuksia jännitteisten osien suojaukseen ja vikatilanteissa ihmisten ja esineiden suojaukseen.

3.2.2 Tuotteen sisäinen sähköjakelu ja suojaukset

Tuotteen sisäisessä jakelussa on vaihto- ja tasasähköjärjestelmät erotettava toisistaan. Ainoastaan suojauksessa käytettävä PE-johdin kytkeytyy laitteen kaikkiin sähköjärjestelmiin.

Suurin osa tuotteista myydään asiakkaille Pohjois-Amerikassa. Suojaerotetulla muuntajalla sähköistettyjen laitteiden tulee noudattaa standardin UL1310 mu-

kaisia vaatimuksia: Laitteessa käytettyjen komponenttien täytyy olla UL class 2 sertifioituja. UL1310 sallii kuitenkin sertifioimattomien komponenttien käytön siinä tapauksessa, että johdonsuojakatkaisijan läpi syötettävä teho ei ylitä 100 W:ia. Tähän vaatimukseen päästään paloittelemalla tuotteen sisäinen sähkönjakelu 100 W:n kokoiisiin segmentteihin kuvion 4 mukaisella sähkönjakelutopologialla. Ginolis Oy käyttää moottoriohjauksissaan ja anturoinnin IO-liitännöissä suurimmaksi osaksi omia piirikorttejaan, joille ei ole hankittu UL Class 2 sertifiointia sen ollessa hidas, raskas ja kallis prosessi. (UL 1310 2014.)



Kuvio 4. UL1310:n vaatimuksen mukainen syöttöjärjestelmän topologia neljällä jännitealueella.

3.3 Maadoitus

Maadoituksella laitteissa saavutetaan viranomaisvaatimusten mukainen sähköturvallisuuden ja häiriösuojauksen taso. Laitteiden suojaamiseen oiko- ja maasulkuvirroilta voidaan käyttää johdonsuojakatkaisimia tai sulakkeita. Laitteen sisäisten kaapeleiden dynaaminen suojaus tapahtuu pääsääntöisesti käytettävien teholähteiden integroidulla oikosulkusuojauksella, joskus erityistapauksissa voidaan mitoittaa myös hyvin herkille komponenteille nopeat sulakkeet syöttölinjoihin. Harvoin käytettäville pienjännitteisille vaihtovirtakomponenteille käytetään yleensä TN-S järjestelmän suojausta tai suojausta asiakkaan osoittamassa

sähköjärjestelmässä. Laitteiden syöttöjohdot ovat tehtaan sähköjärjestelmän suojauksen alla.

Kaapeleiden terminen suojaus tehdään sulakkeilla ja käytönaikaisella virranmittauksella. Komponentit voivat suojauksen lisäksi vaatia toimiakseen myös häiriötöntä FE-maakontaktia. Näissä tapauksissa tuodaan tällaiselle komponentille tähtikytkentänä erityinen maadoitusjohdin.

Laitteiden sähköturvallisuus on ratkaistu käyttämällä linjastossa 24 VDC:n pienisjännitejärjestelmää. FELV järjestelmä on valikoitunut yrityksen tuotteisiin. Kuvio 5 esittää tyypillisen maadoitusrakenteen yrityksen tuotteissa. FELV järjestelmässä suojaerotusmuuntajan ensiöpiirin PE johdin kytketään toisiopuolen järjestelmään FE johtimeksi sekä sillä maadoitetaan laitteen runko heti syötön laitteeseen tullessa. Tätä pistettä käytetään laitteen maadoitusjärjestelmän tähtipisteenä. FE-johdin vedetään tähtipisteestä säteittäin laitteiden moduuleille asti, jossa jännitteelle alttiit pinnat kytketään nollapotentiaaliin ja häiriön suojauksen vaatimat maadoitukset tehdään. Kytettäessä instrumentteja (sensoreita, ionisaattoreita yms.) johdotetaan näille laitteille tähtipisteestä oma FE maa-johdin, jota ei kytketä muualle. Häiriösuojatut instrumentointikaapelit maadoitetaan vain lähtöpäästään. (SFS-KÄSIKIRJA 600-1 2012 s. 90 – 106; Mäkinen 2009.)

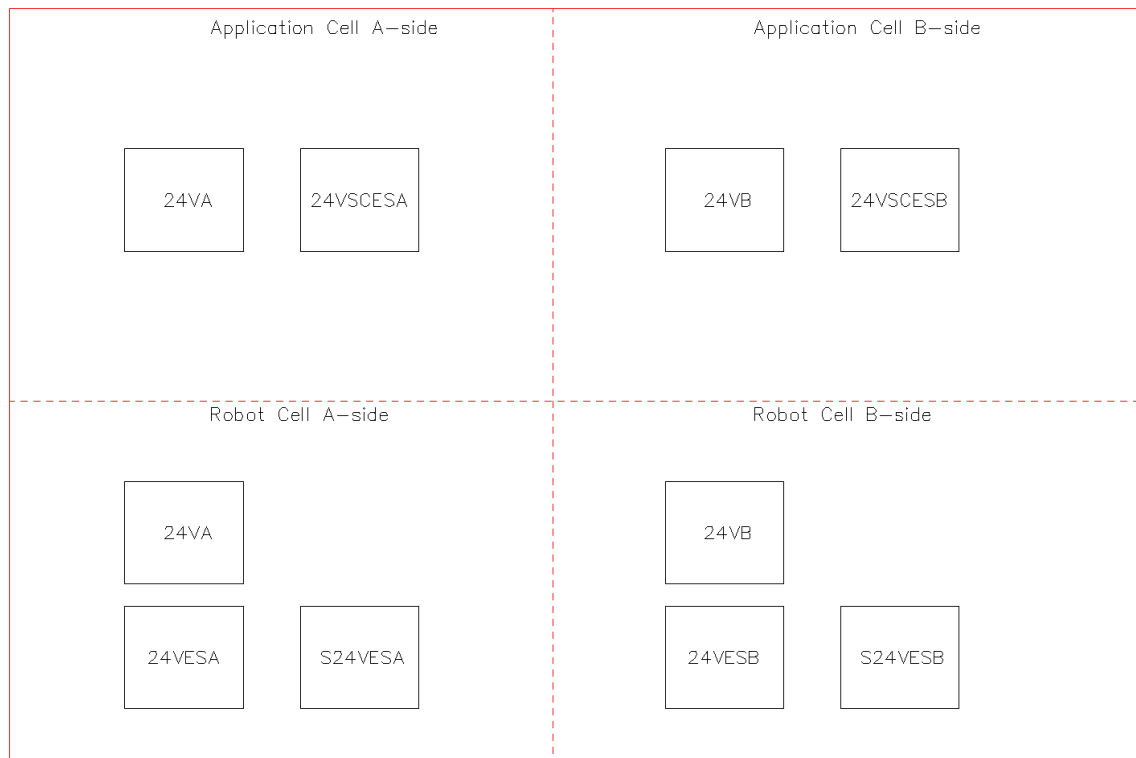
3.4 Tehosuunnittelu

3.4.1 Segmenttikohtainen teho

Robottisolussa sähkönjakelu jaetaan 700 mm leveässä solussa kahteen osaan kuvion 6 mukaisesti A ja B segmentteihin. Kussakin segmentissä on käytössä nelikanavainen ohjelmoitava johdonsuojakatkaisin, jolla toteutettavat neljä jännitealuetta on esitelty Taulukossa 2. Käytettäessä 350 mm leveää solua on käytössä vain A segmentit.

Taulukko 2. Solujen jännitealueet

Jännitealue	Käyttökohde
24VA(B)	Aina päällä oleva jännitealue PC:n, PLC:n ja antureiden sähköistykseen
24VESA(B)	Hätä-seis ja ovikytkimien takana oleva jännitealue robottisolun moduuleiden sähköistykseen.
S24VESA(B)	Hätä-seis ja ovikytkimien takana oleva jännitealue robottikäsmoduulin sähköistykseen.
24VSCESA(B)	Hätä-seis ja ovikytkimien takana oleva jännitealue applikaatiosolun moduuleiden sähköistykseen



Kuvio 6. Robottisolun jännitesegmentit

Kanavien kuormatehot joudutaan aina tarkistamaan solukohtaisesti ja tarpeen vaatiessa lisätään jännitealueiden lukumäärää tai rajoitetaan ohjelmallisesti kuormatehoa.

3.4.2 Johtimien mitoitus

Robottisolun ainut vaihtosähköinen syöttö tulee teholähteelle, joka ostetaan valmiina komponenttina kokoonpanoon. Tämän laitteen syöttökaapeloinnin mitoituksesta on huolehtinut sen valmistaja.

Käytetty teholähde valitaan aina siten, että siinä on integroituna automaattinen oikosulkusuojaus. Kuormatehon mukaan mitoitetaan kaapeleiden jännitteenne-nema kaavan (1) mukaan. (SFS-KÄSIKIRJA 6001 2012 s 263.)

$$u = b * \left(\rho_1 * \frac{L}{S} \right) * I_B, \quad (1)$$

missä

ρ_1 = johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä (0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ kuparille ja 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ alumiinille)

b = kerroin 2 yksivaihepiirille

L = johtojärjestelmän pituus metreinä

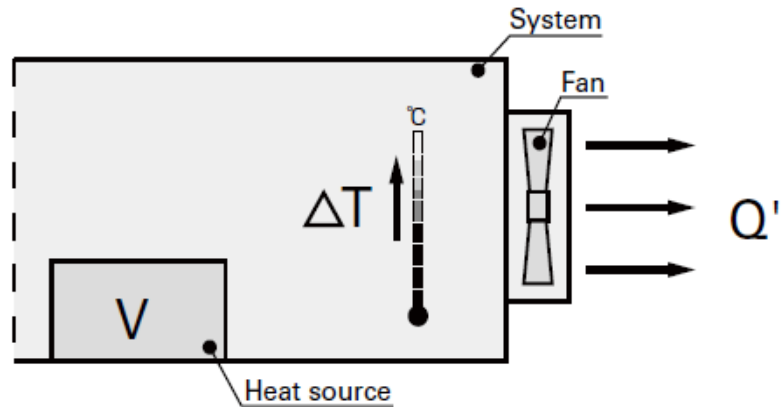
S= johtimen poikkipinta-ala mm^2 :nä

I_B = kuormavirta ampereina

3.4.3 Tuuletuksen mitoitus

Tehonkulutus laitteen sisällä muuttuu tasasähköjärjestelmässä kokonaisuudessaan lämmöksi. Tuuletuksella pyritään pitämään lämpötila laitteen sisällä alle sallitun maksimilämpötilan. Yleensä herkimvät sähköiset komponentit vaativat lämpötilan pysymisen alle 55°C:een. Tuuletus voi tapahtua passiivisesti laitteen luontaisen sisäisen ilmankierron avulla tai sitä voidaan tehostaa puhalluksella. Käytäntö yrityksen tuotehistoriassa on osoittanut mekaanisen puhallustuuletuksen olevan soveltuvin vaihtoehto.

Kaavoilla (2) ja (3) voidaan mitoittaa kuvion 7 mukaiseen systeemiin tuuletin. Saatua tulosta käytetään valittaessa kaavan (3) avulla tuulettimen tyyppiä. (Sanyo Denki 2016)



Kuvio 7. Tuuletuksen mitoitus. (Sanyo Denki 2016.)

Kaavalla (2) lasketaan siirrettävän ilmavirran määrä, kun tiedetään ympäristön lämpötila, suurin käyttölämpötila ja kotelon sisäinen lämpöteho.

$$Q' = \frac{V}{20 \cdot \Delta T}, \quad (2)$$

missä

Q' = Tuulettimen siirtämä ilmavirta (m^3/min)

V = Lämmön tuotto (W)

ΔT = Sallittu kotelon sisälämpötilan nousu (K)

Kaavalla (3) lasketaan varmuuskertoimen avulla tuulettimelle tarvittava maksimi-ilmamäärä.

$$Q = \frac{3}{2} \cdot Q', \quad (3)$$

missä

Q = Tuuletinmallin maksimi-ilmavirta (m^3/min)

3.5 Ohjausväylät

Yrityksen tuotteissa on ajan saatossa päädytty käyttämään neljää pääsääntöistä ohjausväylää: Ethernet-, EtherCat-, USB- ja CAN-väyliä.

3.5.1 Ethernet

Ethernet-verkkoa käytetään kahteen tarpeeseen. Ensinnäkin sillä liitetään laite osaksi tuotantolaitoksen omaa tietojärjestelmää. Tämä voidaan suorittaa myös langattomasti WLAN-verkon avulla. Laitteisiin integroidaan tätä varten ohjelmoitava reititin, jolla voidaan tarvittaessa erottaa tehtaan tietoverkko laitteen sisäisestä verkosta.

Toinen käyttökohde ethernet-verkolle laitteessa ovat applikaatiot, joilla on tarve siirtää suuria tietomääriä nopeasti, erityisesti kategorian 6 mukainen 1 GBit/s siirtonopeus tukee tätä. Esimerkkinä mainittakoon konenäkökamerat.

3.5.2 EtherCat

Alun perin Beckhoff Automation yrityksen kehittämä reaaliaikainen ohjausväylä-ratkaisu on sittemmin standardoitu IEC61158 standardissa. EtherCat:n teknologia pohjautuu FieldBus-standardiin. EtherCat-väylä toimii pakettiliikenteisessä tietoverkossa ja sen suunnittelussa on alusta asti tähdätty lähes reaaliaikaiseen ajoitukseen. Standardi takaa reagointiajan jäävän alle 100 us:n. (EtherCat Technology Group 2016.)

Väylä toimii fyysisessä ethernet-verkossa ja sen ethercat-isäntäsovelluksen pystyy konfiguroimaan tavalliseen ethernet-porttiin. Tämä varaa ethernet median ethercat käyttöön. Väylään kytkettävien ethercat orja-laitteiden täytyy tukea HW-tasolla ethercat-signaalia. Ethernet-pakettien välittäminen on edelleen mahdollista ethercat-verkossa, kunhan ne vain paketoidaan SW-tasolla asianmukaisella protokollalla. (EtherCat Technology Group 2016.)

Ethernet verkon tavoin ethercat verkko voidaan topologialtaan rakentaa hyvin joustavaksi linja-, puu- ja tähtirakenteilla. EtherCat tukee myös CAN-väylän rakentamista ethernet-verkon fyysistä kaapelointia hyväksikäyttäen. Ethercat-väylä tukee turvarakenteita IEC 61784-3 standardin mukaisella rakenteella. Laitteen hätä-seis kytkimet voidaan kytkeä ethercat-väylän avulla keskitetysti turvalogiikan tuloihin. (EtherCat Technology Group 2016.)

3.5.3 CAN

ISO 11898 standardi määrittelee CAN-väylän rakenteen. Väylän käytön automaatio-sovelluksessa tekee houkuttelevaksi sen yksinkertainen rakenne. Kaapelointi tarvitsee vain yhden parikaapelin, jolla päästään noin 1 Mb/s siirtonopeuksiin. Robottisolun ympäristössä väylällä siirretään yleensä sensoreiden signaaleja tai ohjataan toimilaitteita. (National Instruments 2014.)

3.6 Konenäkökamerat

Tuotteessa käytetään konenäkökamaroita prosessin ohjaukseen ja laadunvalvontaan. Yhteen robottisoluun voi tulla jopa 6 eri kameraa tarkkailemaan solun prosesseja. Tyypillisesti konenäköohjelmiston lisenssillä voidaan käyttää useampaa kameraa. Antureiden korvaaminen kameroilla on lähes ilmaista tapauksissa, missä konenäkölisenssi on jouduttua hankkimaan esimerkiksi laadun-tarkkailuun. Kameroiden HW-osien kustannukset ovat nykyään maltilliset, kameroita voidaan käyttää jopa seitsemään eri toimintaan yhdessä robottisolussa.

3.6.1 Prosessin ohjaus

Robottikäden, kuljettimien ja siirtimien ohjaamisessa voidaan hyödyntää konenäköä. Kameran kuvasta paikannetaan kappaleet, joiden asennon ja sijainnin mukaan automaation ohjausjärjestelmä ohjaa prosessin kulkua.

Robottikäden sijainnin ohjauksen tarkkuus on sata mikrometriä, tällaiseen tarkkuuteen päästäkseen on kameran kuva-ala ehdottomasti kalibroitava sertifioidulla kuviolla, esimerkiksi shakkilautakuviolla. Kameran kuvan kalibroinnin lisäksi täytyy työalueen reunat kalibroida erityisillä kalibrointityökaluilla, joiden avulla ohjausohjelmisto osa laskea robottikäden liikkeille liikeradat. Robottikäsi koostuu kahdesta nivelestä ja pyörivästä tarttujasta. Robottikäden liikkeiden yksinkertaistamiseksi on ohjausjärjestelmään luotu virtuaaliset X-, Y- ja Z-akselit, joiden mukaisesti kättä ohjataan.

Kappaleiden etenemistä tuotantoprosessissa voidaan seurata konenäön avulla, jolloin voidaan korvata joitain paikka-antureita kameralla.

3.6.2 Laaduntarkkailu

Asiakkailla on yleensä omat kriteerinsä heidän oman tuotantonsa tuotteiden laadulle. Hyvin usein nämä kriteerit voidaan tarkistaa visuaalisesti, tällöin konenäkö suoriutuu laaduntarkkailusta nopeasti ja tehokkaasti. Tyypillisesti kameralla tunnistetaan tuotteesta esimerkiksi liitoksen saumoja ja mittaamalla tarkistetaan sauman tiivis sulkeutuminen.

3.6.3 Kameroiden vaatimuksia

Kameroiden ohjaukseen tarvitaan yleensä PC:tä, koska PLC:llä ei riitä teho reaaliaikaisen videokuvan analysointiin. Kaksi yleisintä liityntäväylää konenäkökameralla ovat USB3-väylä ja vähintään CAT 6 tasoinen ethernet- väylä. Käytännössä on osoittautunut, ettei firman tuotteissa yleisesti käytetty Beckhoffin teollisuus-PC kykene tukemaan kuin maksimissaan viittä rinnakkaista kameraa.

Kameraan asennettavan optiikan määrittävät kuvattavan kohteen dimensiot ja kameran geometria. Yleisimmät konenäkökameroiden valmistajat tarjoavat nettipalveluissaan ilmaisia hyötyohjelmia, joiden avulla voidaan tunnettuihin geometrioihin ja kohteen dimensioihin nähden valita optimi kamera- ja optiikkakokonaisuus.

3.6.4 Valaistuksen vaatimuksia

Valaistukseen vaikuttavia tekijöitä ovat kuvattavan kohteen dimensiot ja tarkkailtavat yksityiskohdat. Kohteeseen voidaan luoda varjoja korostamaan muotoja tai luoda pehmeämpi valaisu. Usein tuotteiden sijoituspaikassa valaistusolot eivät ole robottisolun kontrolloitavissa, joten suositeltavaa on järjestää konenäkökameran kohteen valaistus siten, että laitteen ulkopuolelta tuleva hajavaloin ei pääse häiritsemään konenäön algoritmia.

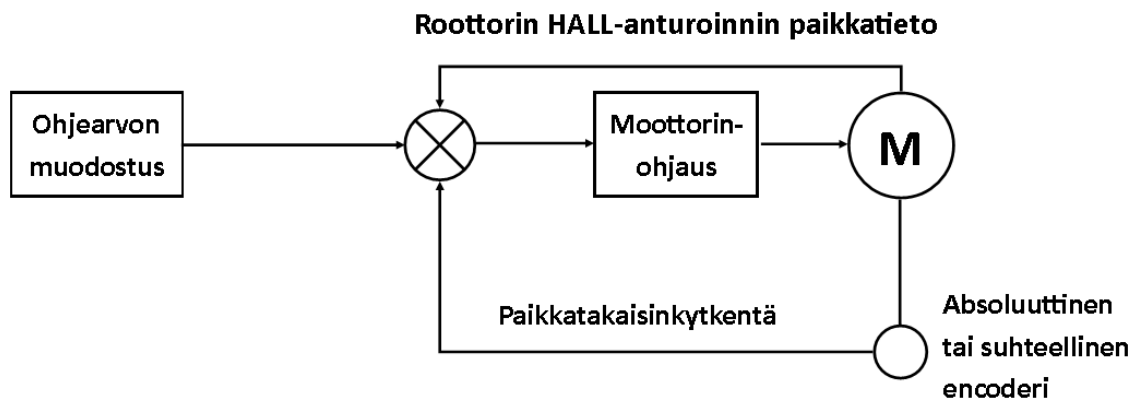
Käytössä on erilaisia LED-valaisimia, joista vapaasti säädettävät RGB-LED:t ovat sopeutuvia erilaisiin olosuhteisiin, niillä voidaan esimerkiksi säätää valaistuksen värilämpötilaa värivääristymien välttämiseksi. Haittapuolena niiden oh-

jaus on monimutkaista. Yleisimpiin valaistus kohteisiin käytetään normaaleja LED-valaisimia PWM-ohjauksella, jolla voidaan säätää valaistuksen tasoa muttei värilämpötilaa.

Tiettyissä tapauksissa voidaan käyttää myös erilaisia optiikan suodattimia korostamaan tuotteen muotoja tai ominaisuuksia. Esimerkiksi polarisointi- ja tummennuskalvot tai IR- sekä UV-suodattimet ihmisilmälle näkymättömille aallonpituuksille. On myös tapauksia, missä asiakkaan tuotteissa käytetään tietyille aallonpituuksille herkkiä aineita, jolloin täytyy kontrolloidusti järjestää kameralla valaistus, missä ei ole kyseisiä aallonpituuksia.

3.7 Käytetyt moottorit

Robottien servo-ohjauksissa käytetään yleisesti harjattomia DC-moottoreita, lineaarimoottoreita ja Voice Coil moottoreita käyttökohteen mukaan. Servomoottorin ohjauksen topologia on esitetty kuviossa 8. Servo-ohjauksessa moottoriin kytketylle laitteelle on asetettu ohjelmiston toimesta paikka-asetus ja moottorin ohjaukselle on annettu liikkeen nopeustiedot. Moottorin ohjausta säädetään HALL-anturoinnin ja liikutettavan laitteen liike-enkoderin tuottaman takaisinkytkentätiedon perusteella, näin saadaan moottorille hyvin tarkka ohjaus. Laitteen liikkeet ovat sulavat ja nykimättömät. Absoluuttinen liike-enkoderi tunnistaa moottorin asennon ennen käynnistymistä ja suhteellinen liike-enkoderi tarvitsee moottorin liikkeen tunnistaakseen liikesuunnan ja siirtymän.



Kuvio 8. Servomoottorin lohkokkaavio (AS-0.2230 2008)

3.7.1 Harjattomat DC-moottorit

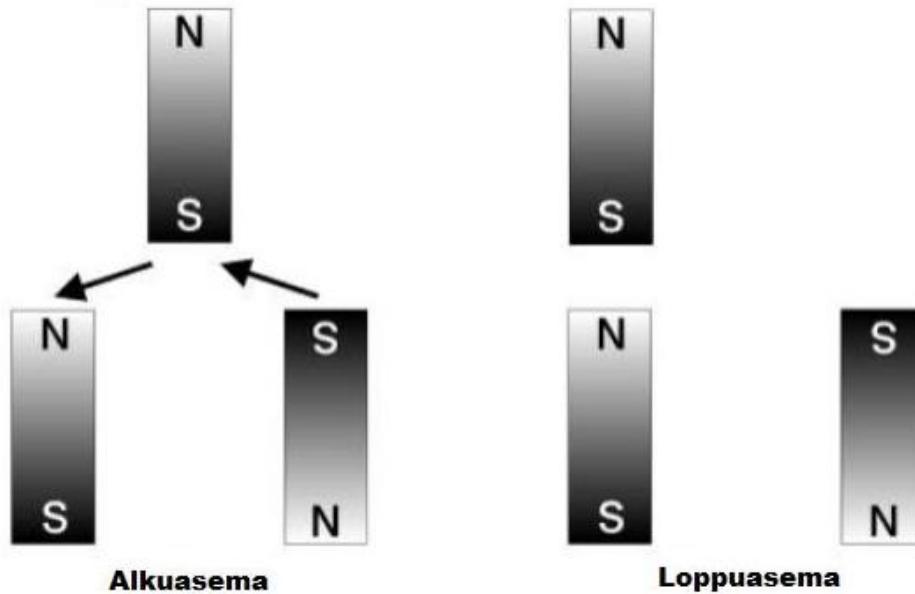
Mekaanisen hiiliharjakommutaattorin sijaan moottorissa käytetään elektronista kommutointia. Näin moottorista saadaan pitkäikäinen ja hyötysuhteeltaan hyvä. Roboteissa käytetyissä moottoreissa on yleensä staattorissa kolme käämistä 120 asteen vaihekulmassa toisiinsa nähden. Käämityksiin jännite syötetään peräkkäisinä hetkinä eli kyseessä voidaan myös ajatella olevan eräänlainen kolmivaiheinen vaihtojännitemoottori. Vaiheisiin ohjattava jännite voi olla kolmiotai neliöaaltomuotoista, yleensä tämä on valmistajakohtainen valinta. (AS-0.2230 2008.)

Jännitteen vaiheiden ohjauksen pitämiseksi tahdissa moottorin pyörintänopeuden kanssa on roottorin akselille kiinnitetty tarkka asema-anturi, HALL-anturi. Moottorin tehohäviöt tapahtuvat suurimmaksi osaksi staattorissa, mistä ne on helppo johtaa ympäristöön. (AS-0.2230 2008.)

Ginolis on valmistanut oman moottorinohjauskorttinsa, jossa on sopivat anturitulot ja moottoriliitännät tyypillisiin robottimoottoriohjausten rajapintoihin.

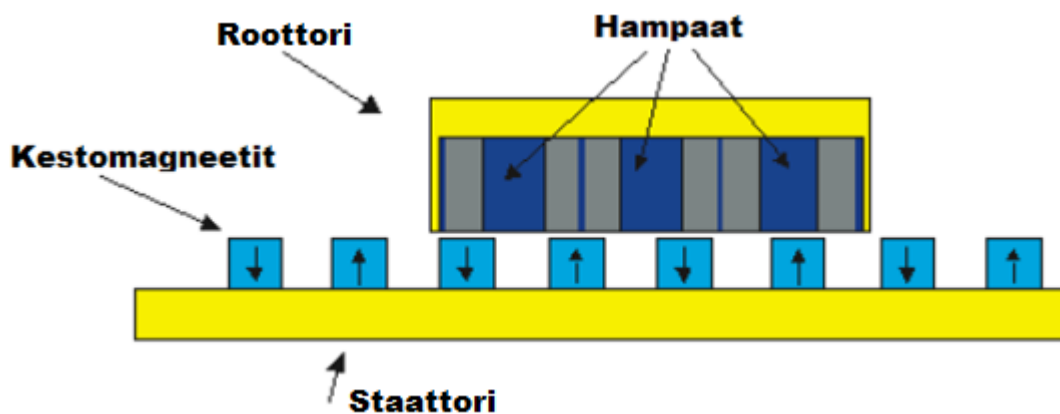
3.7.2 Lineaarimoottorit

Moottorin toimintaperiaate pohjautuu magneettikenttien manipulointiin. Kahden magneettikentän keskinäinen suhde määräytyy niiden napojen suuntien mukaan. Magneettien ollessa kuvion 9 alkuaseman mukaisessa asetelmassa, kohdistavat alemmat kiinteästi asennetut magneetit ylempään irrallaan olevaan magneettiin sen sijaintiin verrannollisen työntö- tai vetovoiman, joka liikuttaa sitä. (Ikonen 2013)



Kuvio 9. Lineaarimootorin toimintaperiaate (Ikonen 2013.)

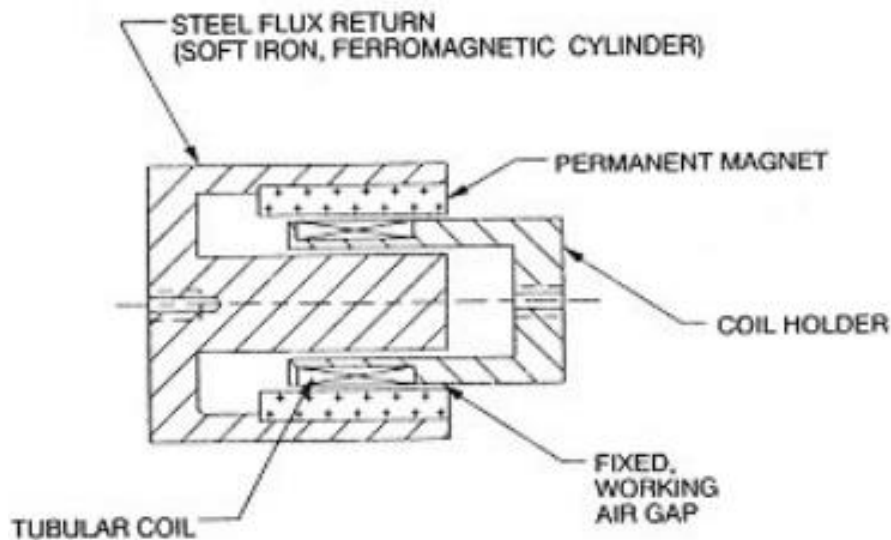
Yleisin käytetty lineaarimootorin tyyppi on synkroninen lineaarimoottori, jossa mekaaninen liike on magneettikentän liikkeen kanssa samanaikainen ja -suuntainen. Tyypillisesti lineaarimoottori on rakenteeltaan yksipuolinen, kuten kuviossa 10 on esitetty. Kaksipuolisiakin rakenteita esiintyy, mutta ne ovat jäähdytyksen kannalta monimutkaisempia kuin yksipuolinen rakenne. Staattorissa on kiinteästi asennettuina joko kesto- tai sähkömagneetteja. Roottoriin on yleensä kierretty kolme käämitystä. Ohjaamalla roottorin vaiheita voidaan sitä liikuttaa hallitusti staattorialustan päällä. Kolmen roottorikäämin tapauksessa voidaan moottorin ohjaukseen käyttää samaa ohjauskorttia kuin harjattomalle DC-moottorille.



Kuvio 10. Yksipuolisen lineaarimootorin rakenne. (Ikonen 2013.)

3.7.3 Voice Coil -moottorit

Moottorin toimintaperiaate on tuttu kaiuttimien äänikelojen rakenteesta. Rakenteen puolesta voidaan toteuttaa kahdenlaisia moottoreita, liikkuva osa on joko kestopagneetti tai käämitys. Kuviossa 11 on esitetty liikkuvakäämisen moottorin rakenteen poikkileikkaus. Kummassakin tapauksessa liikkuvaan osaan saadaan aikaiseksi voima, joka on verrannollinen kestopagneetin magneettikentän vahvuuteen ja käämissä kulkevaan virtaan. Manipuloimalla käämivirtaa ja käyttämällä takaisinkytkentää voidaan liikkuvan osan vauhtia ja suuntaa kontrolloida hyvin tarkasti. (Black, Lopez, & Marcos 1993; McNamara 2012)



Kuvio 11. Voice Coil -moottorin rakenne (Black 1993.)

Käyttökohteita moottorilla ovat tarkkuusmanipulaattoreiden lisäksi tärypöydät ja -maljat. Käytettäessä liikkuvaa käämitystä päästään kevyen liikkuvan osan ansiosta hyvin suuriin kiihtyvyyksiin ja nopeuksiin. Liikkuvan kelan moottoreissa moottorista irti suurempi voima kuin vastaavasta solenoidista saataisiin. Moottoreita on käytetty erityisesti lääke- ja avaruusteollisuuden roboteissa. (Black 1993; McNamara 2012.)

3.8 Turvalogiikka

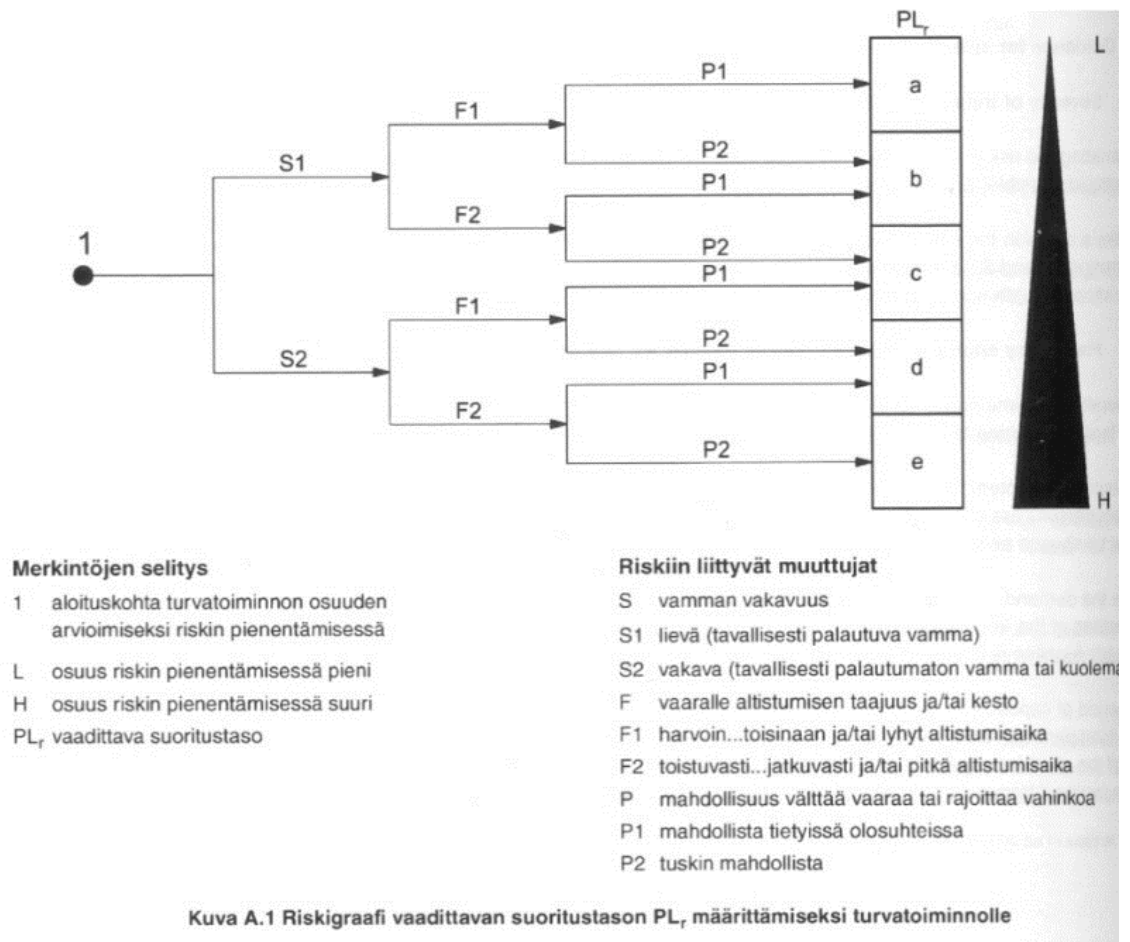
Koneensuunnittelua ohjaa konedirektiivi 2006/42/EY. Lähtökohtana suunnittelussa on riskiarviointi koneen käyttäjälleen ja ympäristölleen aiheuttavista riskeistä. Suunnittelussa on otettava riskiarvioinnin tulokset huomioon ja pyrittävä rakentamaan laite niin, että riskit eivät pääse tapahtumaan. Jos laitteessa on olemassa toimintoja, joita ei voida täysin suunnittelussa poistaa, pitää laite varustaa turvalaitteilla ja jäljelle jäävistä riskeistä tulee ohjeistaa ja varoittaa käyttäjää. (2006/42/EY 2006.)

3.8.1 Suoritus- ja luotettavuustasot

Ginoliksella on käytössä turvatoimintojen arkkitehtuuri 4. Tässä luokassa laitteissa käytetään hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita, korkean tason koodauksen suojalaitteita ja pakkoavautuvia kytkimiä. Myös turvallisuutta valvova logiikka täyttää luokan 4 vaatimukset, yksittäinen vika ei johda turvatoimintojen menettämiseen. (2006/42/EY 2006.)

Jokaisen turvakomponentin valinnan yhteydessä täytyy erikseen määritellä sille vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika ($MTTF_d$), laitteiston turvakomponenttien pienin $MTTF_d$ määrittää koko järjestelmän luotettavuuden. Laitteiston lasketaan myös keskimääräinen diagnostiikan kattavuus havaittujen vaarallisten virheiden ja kaikkien vaarallisten virheiden suhteena, merkitään DC. (Movetec 2015.)

Tavoitteena Ginolixen laitteissa on saavuttaa kuvion 12 mukaan arvioitu suoritustaso PL_e . Tähän päästään suojausarkkitehtuurin luokalla 4, valitsemalla suojalaitteille vähintään 30 vuoden $MTTF_d$ ja saavuttamalla virheiden valvonnassa DC:n taso 99%.



Kuvio 12. Suoritustason (PL) määrittäminen (Movetec 2015.)

3.8.2 Toimintaankytkentälaitteet

Toimintaankytkentälaitteella valvotaan suojausten asentoa ja ilmoitetaan ohjausjärjestelmälle pysähtymiskäskey. Niiden valintaan vaikuttavia seikkoja ovat käyttöolosuhteet, koneessa olevat vaarat, mahdollisen vahingon vakavuus, toimintaankytkentälaitteen vikaantumisen todennäköisyys, kokonaispysähtymis- ja lähestymisaika sekä turvatoiminnolta vaadittava suoritustaso. (SFS-EN ISO 14119 2014.)

Laitteet on suunniteltava siten, että toimintaankytkentälaitteiden mitätöinnin motivaatio on mahdollisimman pieni. (SFS-EN ISO 14119 2014.)

3.8.3 Turvalogiikan toteutus

Turvalogiikka on toteutettu Ginolixen laitteissa Beckhoffin TwinCat PLC-järjestelmällä. Sillä valvotaan turvalaitteita ja ohjataan turvalähtöjä. TwinCat järjestelmään voidaan kytkeä ethercat väylän kautta Beckhoffin TwinSafe turva moduuleita, jotka täyttävät arkkitehtuuriluokan 4 vaatimukset. (Beckhoff 2016.)

TwinCat tarvitsee EL69XX sarjan ohjauslogiikka moduulin ja siihen liitetään tarpeiden mukaan EL19XX ja EL29XX sarjojen turvatulo ja -lähtö moduuleita. Tarpeen vaatiessa voidaan ethercat väylää laajentaa ja turvapiiriä kuljettaa useampaan paikkaan. Kahden erillisen turvapiirin yhdistäminen onnistuu vain PC:n Safety Over Ethernet protokollan kautta. (Beckhoff 2016.)

4 SUUNNITTELUN TULOKSIA

Moduulien ja robottilinjan sähköjärjestelmäksi valikoitui yrityksessä perinteisesti käytetty FELV-järjestelmä. Työssä osoitettiin, että aiotulla SELV-järjestelmän implementoinnilla ei saavutettaisi tarvittavaa häiriönsietoisuutta automaatiojärjestelmässä. Linjan sähköistys toteutetaan 250W:n tehoisilla solukohtaisilla 24 VDC:n syötöillä, joissa on FE-johdin (Kuvio 18).

Turvalogiikan implementoinnissa päädyttiin teoriassa esitetystä yksinkertaisempaan ratkaisuun pääosin ohjauspiirikortin tilanpuutteen ajamana. Robotti soluun on implementoitu kaksi turvasähkösegmenttiä ohjausmoduulia kohden. Näillä saadaan erotettua robotti- ja applikaatiosolujen sähköistys omaksi segmenteikseen (Liite 5.).

Robotti- ja applikaatiosolujen oviaa valvotaan ovikytkimillä, joiden laukeaminen johtaa kyseisen solun turvasähkön sammuttamiseen voimakkailta moottoreilta. Tuotelinjaan ei implementoitu ainuttakaan sallintakytkintä. Jokaiseen robotti- ja applikaatiosoluun implementoitiin hätä-seis –kytkimet, näistä minkä tahansa aktivointi sammuttaa koko linjaston. Tarvittaessa lisää turvasähköalueita voidaan hyödyntää linjan muiden solujen mahdollisia käyttämättömiä turvareleitä. Muussa tapauksessa asennetaan turvarelekomponentteja tilan salliessa.

4.1 Tehon mitoitus

Työssä on laadittu Excel taulukkolaskenta ohjelmalla laskentapohja, jolla voidaan moduuleittain laskea niiden tehonkulutus, (liite 3). Moduuleiden tehonkulutuksen avulla voidaan samalla laskentapohjalla tarkistaa koko solun tehonkulutus ja edelleen linjan tehon kulutus. Saaduilla tuloksilla voidaan mitoittaa moduuleiden ja solujen johdotukset sekä mitoittaa soluja syöttävät teholähteet. Kuvio 13 esittää esimerkin laskentataulukon käytöstä, siinä on laskettu kuvion 16 ohjausmoduulin tehonkulutus ja tarkistettu jännitteenalenema valitulla solun syöttöjohdolla.

Device name	Description	Manufacturer, type	Power dissipation (W)	Max. Load current (A)	Max. Voltage drop at full load (V)	Operating voltage (V)
F1	Circuit protector	MURR elektronik, MIKO+ 4.10	1,8	9	0,2	24
U1	Control board	GINOLIS	0,1			24
A1	WLAN router	Mikrotik, mAP 2n	2			24
A2	USB3 HUB	Beckhoff, CX2500-0070				24
A3	Ethernet switch	Beckhoff, CX2500-0060				24
A4	PC	Beckhoff, CX2030	20			24
A5	PC PSU	Beckhoff, CX2100-004	3,5			24
K1	Ethercar coupler	Beckhoff, EK1914	1,8	0,5		24
K2	Safety controller	Beckhoff, EL6900	1	0,188		24
K3	Safety input	Beckhoff, EL1904	1			24
K4	Safety input	Beckhoff, EL1904	1			24
K5	Safety input	Beckhoff, EL1904	1			24
K6	Safety input	Beckhoff, EL1904	1			24
K7	Servo drive	Beckhoff, EL7201	1,6			24
Total power dissipation (W)			Max. Operating temperature (K)			
35,8			330			
Voltage drop at the control module input (V)			Supply line length (m)			
0,02			0,7			
			Supply line area (mm ²)			
			2,5			

Kuvio 13. Ohjausmoduulin tehonkulutuksen laskenta ja vastaava solun syöttöjohdossa tapahtuva jännitteenalenema.

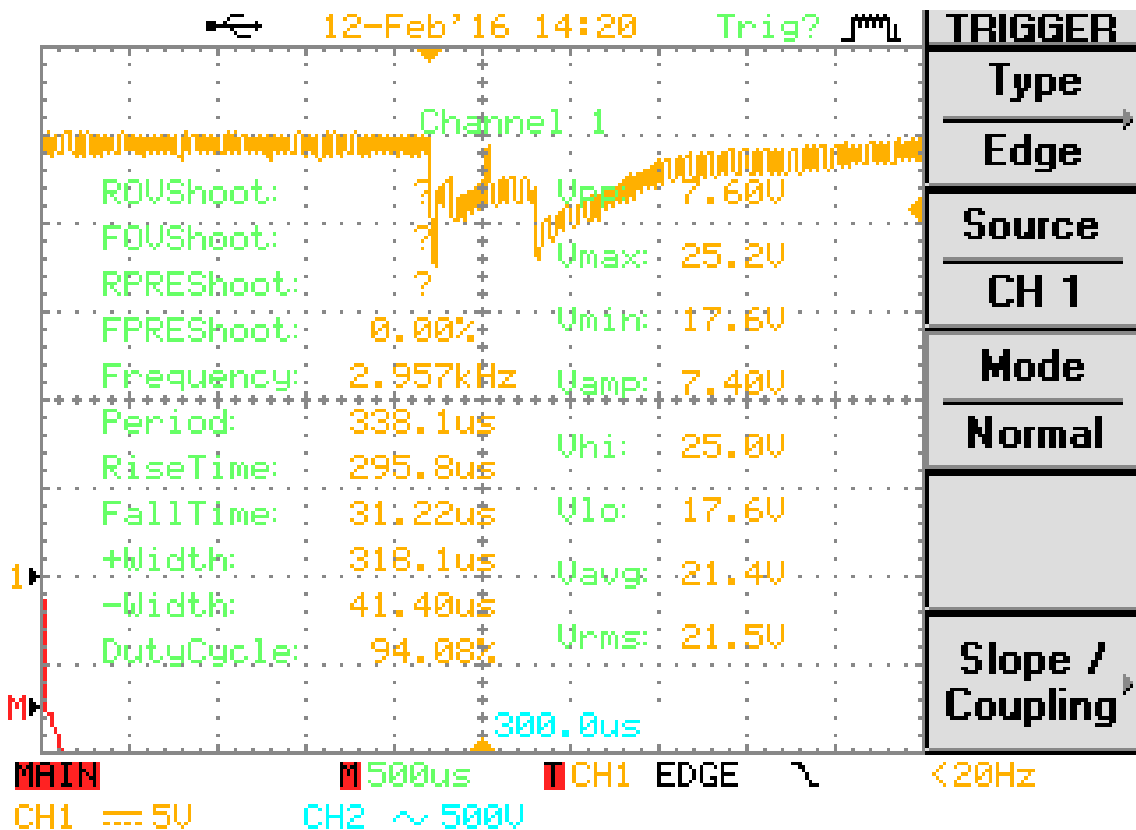
Tyypilliselle robottisolulle laskettu maksimi kokonaisteho rajoittamattomilla moottorikuormilla on noin 1,3 kW. Täyttääkseen kohdan 3.2.2 vaatimuksen tulisi robottisolun syöttö jakaa 13 alisyöttöalueeseen. Tähän ei ole tilan käytön puolesta mahdollista mennä, joten tuotteen konfiguroinnissa rajoitetaan moottorien ohjauksia siten, että kuormatehot pysyvät syöttöalueissaan alle 100W:n kokonaistehon.

Laskettaessa suurimmalla mahdollisella kuormateholla jännitteenalenema kaa-
van (1) mukaan saadaan robottisolun syötön alkupisteeseen 0,67 V:n jännitteenalenema. Tätä voidaan pitää sallittavana arvona, herkimpien komponenttien vaatiessa vähintään 18 V:n käyttöjännitteen.

Yksittäisille moduuleille syötöt tapahtuvat 20-johtimisella lattakaapelilla, jossa on käytetty kahdeksaa rinnakkaista johdinta sähkön siirtoon, efektiivisesti näin saadaan 0,64 mm² siirtojohdin. Suurin yksittäisen moduulin syötön jännitteenalenema 0,45V tapahtuu tavarankuljetus moduuleissa, joita ajetaan kahta moduulia sarjassa. Ottaen huomioon robottisolun syötön jännitteenaleneman 0,67 V saadaan kuljettimien moottoreille minimijännitteeksi $24 \text{ V} - 0,67 \text{ V} - 0,45 \text{ V} = 22,88 \text{ V}$, joka on sallituissa rajoissa.

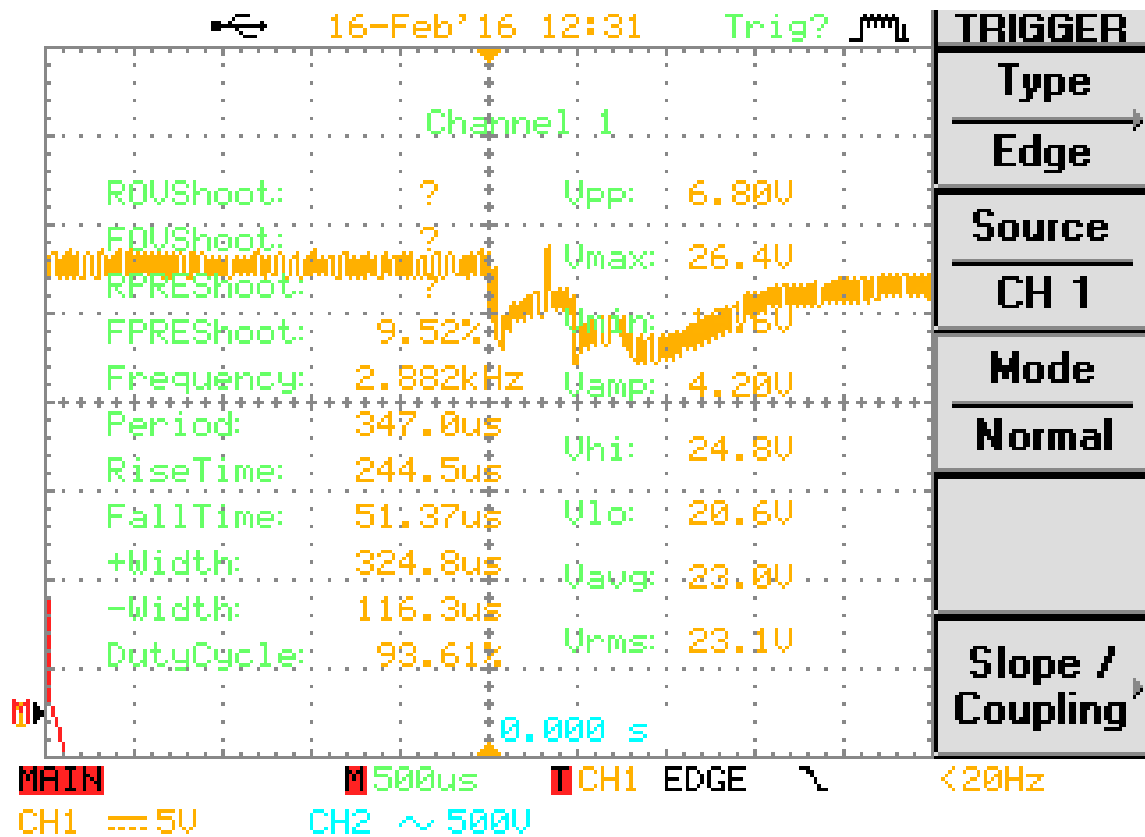
4.1.1 Kuormatransientti

Aiemmissa robottilinjan jännitteen stabiilius-mittauksissa huomio on kiinnittynyt kuormatransienttien vaikutuksiin. Pahimmillaan transientit voivat aiheuttaa kuvion 14 kaltaisen tilanteen, jännite linjassa on laskenut alle 18 V:n. Tällöin herkimmät komponentit resetoituvat ja PLC:n ohjelmaa menee virhetilaan. Kyseisessä tilanteessa ison robottilinjan kaikki moottorikortit aktivoituivat yhtä aikaa turvapiirin laukeamisen kuittauksen jälkeen.



Kuvio 14. Kuormatransientti robottisolun syötössä.

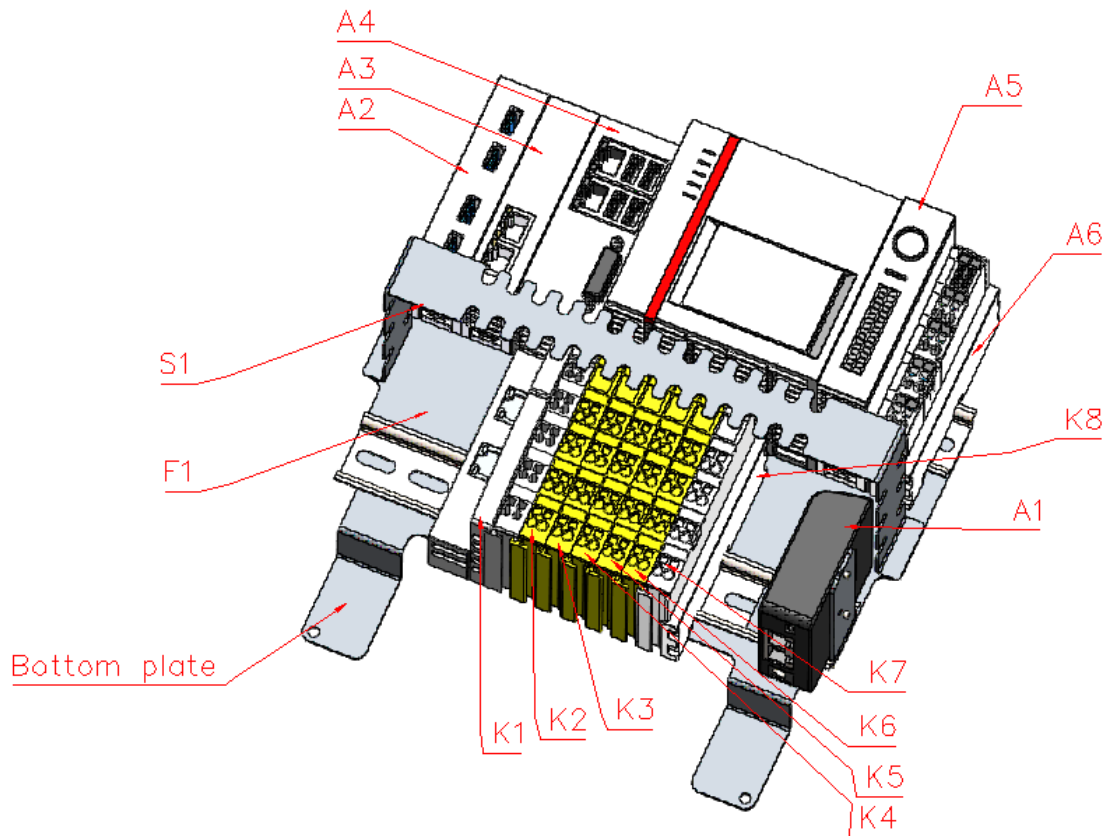
Uuteen robottisolulinjaan tehtiin muutos HW-tasolla moottoriohjausten ajoitetulle aktivoimiselle linjan turvapiirin kuittauksen yhteyteen. Ohjauskortin turvareleillä valvottuihin turvasähkösyöttöihin myös lisättiin kapasitiivista kuormaa syöttämään transienttikuormille lisäenergiaa. Näillä toimenpiteillä päästiin kuvion 15 kaltaiseen tilanteeseen, missä transientin aiheuttama jännitteen tippuminen jää yli sallitun tason alarajan.



Kuvio 15. Kuormatransientti robottisolun syötössä kapasitiivisen kuorman lisäämisen jälkeen.

4.1.2 Tuuletus

Kuvion 16 mukainen kompaktisti asennettu ohjausmoduuli sijoitetaan koteloi-
tuun solun osaan. Lämpötilan nousemisen ehkäisemiseksi koteloon on asennet-
tu 36 W:n lämpöteholle mitoitettu tuuletus.



Kuvio 16. Ohjausmoduulin rakenne

Liitteessä 1 on esitetty laskelma, jonka perusteella ohjausmoduulin tuuletin on valittu. Varmuuden vuoksi tuuletin on toteutettu kahdella komponentilla, jolloin yhden rikkoutuminen ei aiheuta lämpötilan kriittistä nousua ja automatiikka voi tunnistaa tuulettimen pysähtymisen ja antaa laitteen operaattorille hälytyksen.

4.2 Kameran valaisu

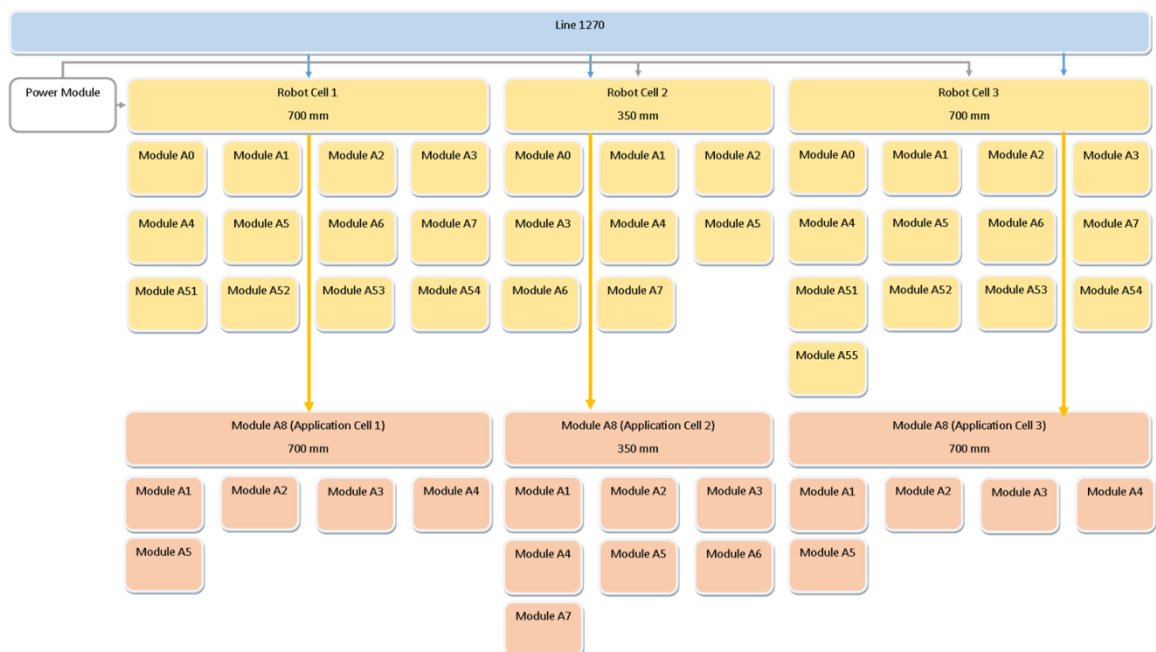
Robottilinjassa päädyttiin kokeilujen jälkeen käyttämään kahta valaisumekanismia. Laaduntarkkailussa valo tuodaan LED-valaisimin kameran tarkkailemalle kappaleen pinnalle sivusta, kahden puolen turhien varjojen välttämiseksi. Robottikäsien ohjaamiseen käytetään linssisalaman tyylistä LED-valaistusta optiikan kehällä. Kumpaankin valaisumekanismiin suunniteltiin tuotekehitysprojektin aikana integroitu valaisinpiirilevy, joille laadittiin esimerkkikytkennät automaatio-ohjaukselle. (Liite 5.)

4.3 Työssä syntyneet kuvat

Työn aikana on luotu dokumentti yrityksen sisäiseen käyttöön ohjaamaan sähkökuvien piirtämistä (liite 4). Tässä dokumentissa käydään läpi ohjeistus modulaaristen kuvien piirtämiseen. Tässä luvussa esiteltävät sähkökuvat löytyvät kosivun versioina liitteestä 5.

Työssä toteutettiin sähkökuvien piirtäminen kuvion 17 mukaiseen robottilinjaan. Sähkökuvat laadittiin tukemaan modulaarista rakennesuunnittelua. Linjan robottisolut koostuvat applikaatiosoluista, molemmat on kasattu erilaisista moduuleista. Kuvissa kirjaimella A viitataan 700 mm leveän solun vasempaan puoleen ja vastaavasti kirjaimella B oikeaan puoliskoon. Muilla aakkosilla ei ole komponenttien identifioinnin lisäksi muuta erityismerkitystä kuvissa.

Tyypillinen asiakastoimitus koostuu kolmesta viiteen rinnakkaisesta robottisolusta. Robottisolu voi olla leveydeltään joko 350 mm tai 700 mm. Applikaatiosolut ovat mitoitettut siten, että niitä voidaan käyttää kummasakin robottisolun rungossa. Tietyt applikaatiosolut menevät vain 700 mm leveään robottisoluun, tällöin niihin viitataan vasempana applikaatiosoluna.



Kuvio 17. Linjan modulaarinen topologia.

Eri tasojen piirustukset eritellään omiksi ryhmikseen piirustusnumeroiden etuliitteillä, taulukossa 3 on esitetty käytetyt hierarkiatasot. Etuliitteeseen liitetään numero 0:sta alkava juokseva järjestysnumero.

Taulukko 3. Piirustusnumeroiden merkintä.

Taso	Etuliite	Sisältö
Linjan kokoonpano	EA-1-	Esittää linjan solut ja näiden välisen kaapeloinnin.
Robottisolun kokoonpano	EA-2-	Esittää robottisolun kokoonpanon ja kaapeloinnin
Applikaatiosolun kokoonpano	EA-3-	Esittää applikaatiosolun kokoonpanon ja kaapeloinnin
Moduulin kokoonpano	EA-4-	Esittää moduulin kokoonpanon ja kaapeloinnin

Taulukossa 4 on esitetty ote työn aikana syntyneestä asiakasprojektin sähkökuvaluettelosta, joka sisältää kuvat kuvion 17 mukaisesta robottilinjasta.

Taulukko 4. Ote sähkökuvaluettelosta tuoteprojektissa.

Drawing number	Description	Entity
EA-1-0	Line assembly and wiring	1270
EA-4-0	Line power module assembly and wiring	PM
EA-2-0	Robot Cell 1 assembly and wiring	RC1
EA-4-1	Robot Cell 700mm Frame assembly and wiring	FRAME700
EA-4-2	Control unit A assembly and wiring	CUA
EA-4-3	Control unit B assembly and wiring	CUB
EA-4-4	SCARA Mounting Plate left hand side assembly and wiring	SMPA
EA-4-5	SCARA Mounting Plate right hand side assembly and wiring	SMPB
EA-4-6	SCARA assembly and wiring	SCARA
EA-4-7	SCARA Gripper assembly and wiring	GRIP
EA-4-8	SCARA Z-motor left side assembly and wiring	ZMDA
EA-4-9	SCARA Z-motor right side assembly and wiring	ZMDB
EA-4-10	Transfer Unit Module assembly and wiring	TU
EA-4-11	Beacon module assembly and wiring	BEACON
EA-4-12	Bottom connector assembly and wiring	BC
EA-4-13	Robot Cell 1 Safetycircuit assembly and wiring	SC
EA-3-0	Bulkfeeder application cell assembly and wiring	BULKF

Yksittäisten moduulien sähkökuviin ei tehdä enää muita muutoksia asiakaslinjaston kokoonpanossa kuin päivitetään tuotetoimituksen projektinumerot ja linjarakenteeseen liittyvät identifiointi numerot sekä tason EA-4 kuviin päivitetään komponenttien kokonaisuudet ja sähköpositiot.

4.3.1 Linjan kokoonpano

EA-1 alkuisia kokoonpanokuvia tehdään vain asiakastoimituksiin. Niissä esitellään linjan robottisolut ja niiden väliset kytkennät.

Robottisolut ja muut kuvissa näkyvät komponentit saavat taulukkojen 5 ja 6 mukaiset identifiointitunnukset, kokonaisuudet ja sähköpositiot komponentteihinsa.

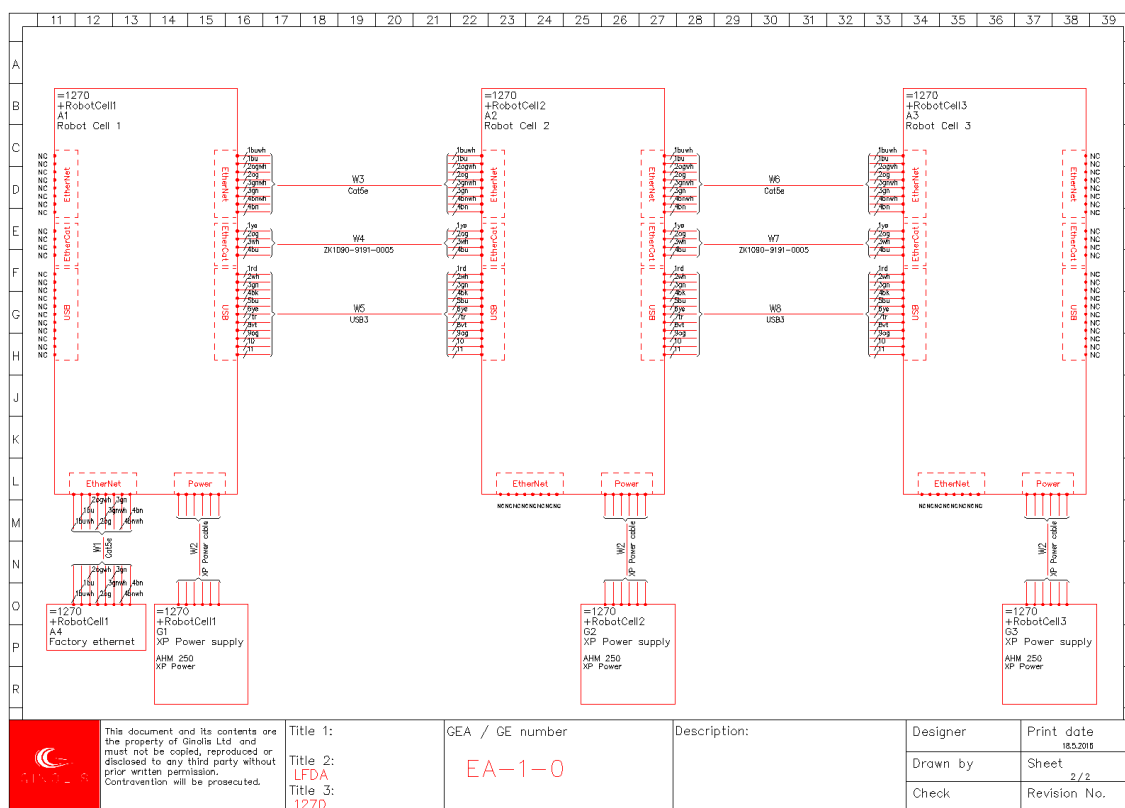
Taulukko 5. Linjan identifiointi parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Title 1	
Title 2	Tuoteprojektin nimi
Title 3	Tuoteprojektin numero

Taulukko 6. Linjan kokonaisuus ja sähköpositio parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Kokonaisuus	Tuoteprojekti numero
Sähköpositio	Robottisolun tunnus

Esimerkki linjan kokoonpanokuvasta on esitetty kuviossa 18.



Kuvio 18. Linjan kokoonpanokuva

4.3.2 Robottisolun kokoonpano

EA-2 alkuisia kokoonpanokuvia tehdään vain asiakastoimituksiin. Niissä esitellään linjan robottisolujen kokoonpano.

Moduulit ja muut kuvissa näkyvät komponentit saavat taulukkojen 7 ja 8 mukaiset identifiointitunnukset, kokonaisuudet ja sähköpositiot komponentteihinsa.

Taulukko 7. Robottisolun identifiointi parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Title 1	
Title 2	Robottisolun nimi
Title 3	Tuoteprojektin numero

Esimerkki robottisolun kokoonpanokuvasta on esitetty kuviossa 19.



4.3.3 Applikaatiosolun kokoonpano

EA-3 alkuisia kokoonpanokuvia tehdään vain asiakastoimituksiin. Niissä esitellään linjan applikaatiosolujen kokoonpano.

Moduulit ja muut kuvissa näkyvät komponentit saavat taulukkojen 9 ja 10 mukaiset identifiointitunnukset, kokonaisuudet ja sähköpositiot komponentteihinsa.

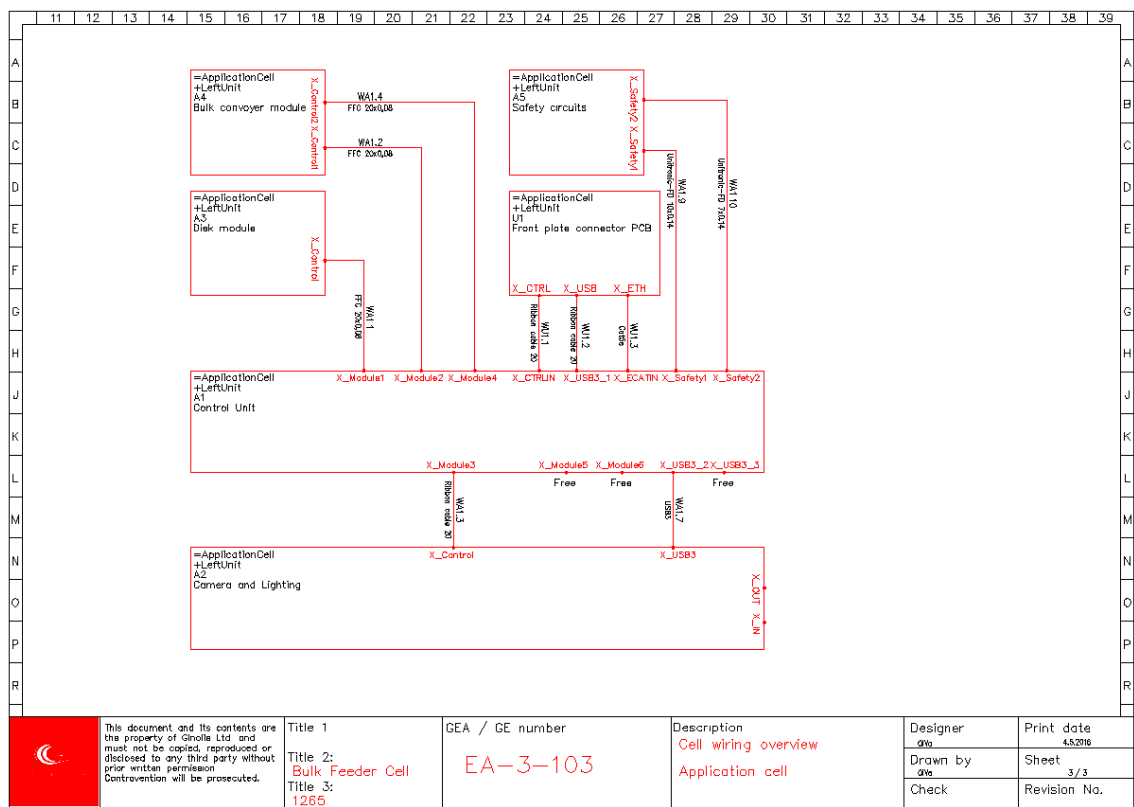
Taulukko 9. Applikaatiosolun identifiointi parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Title 1	
Title 2	Applikaatiosolun nimi
Title 3	Tuoteprojektin numero

Taulukko 10. Applikaatiosolun kokonaisuus ja sähköpositio parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Kokonaisuus	ApplicationCell
Sähköpositio	LeftUnit, RightUnit 700 mm leveässä solussa fyysisen sijainnin mukaan. 350 mm leveässä solussa aina LeftUnit

Esimerkki applikaatiosolun kokoonpanokuvasta on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20. Applikaatiosolun kytkentäkuva.

4.3.4 Moduulin kokoonpano

EA-4 alkuisia kokoonpanokuvia tehdään tuotekehityksessä. Asiakastoimituksiin niihin päivitetään vain toimitettavan linjan tiedot. Niissä esitellään robotti- ja applikaatiosolujen moduulien kokoonpanot.

Moduulit ja muut kuvissa näkyvät komponentit saavat taulukkojen 11 ja 12 mukaiset identifiointitunnukset, kokonaisuudet ja sähköpositiot komponentteihinsa.

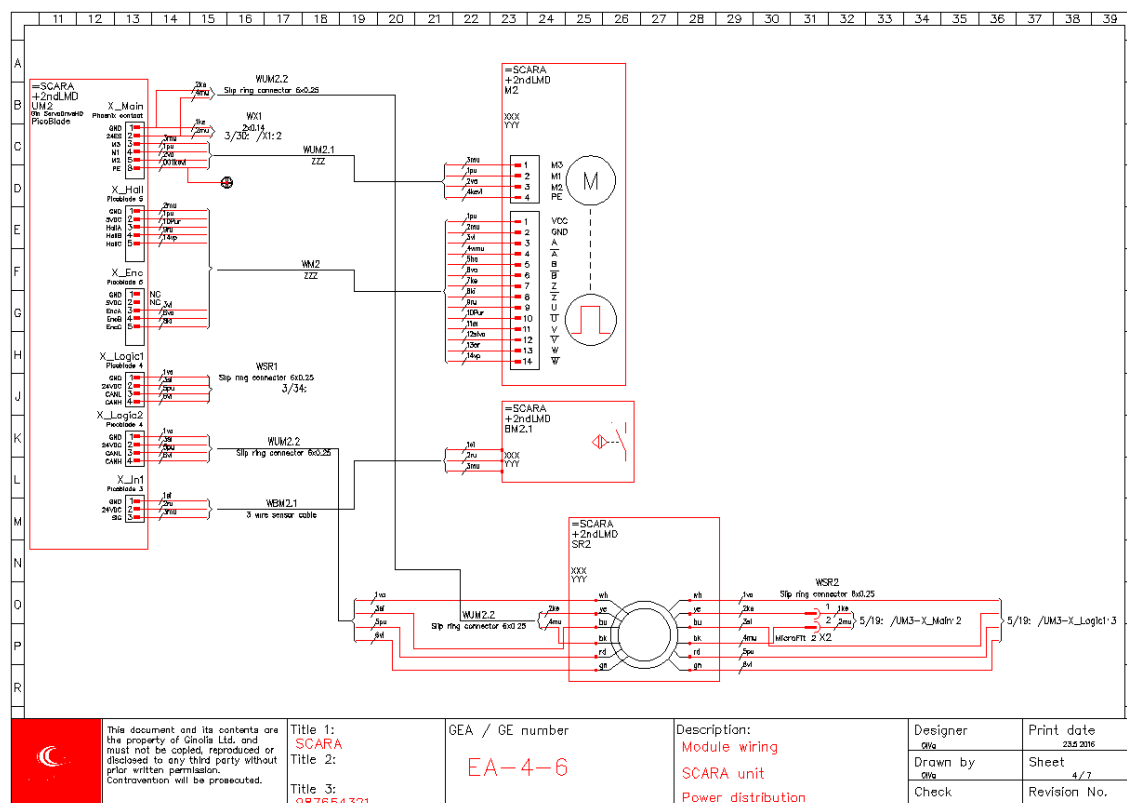
Taulukko 11. Moduulin identifiointi parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Title 1	Moduulin nimi
Title 2	Applikaatiosolun tai ylemmän moduulin nimi
Title 3	Tuoteprojektin numero

Taulukko 12. Moduulin kokonaisuus ja sähköpositio parametrit.

Identifiointitunnus	Merkitys
Kokonaisuus	Moduulin nimi tai lyhenne siitä. Lyhyt kuvaava tunnus
Sähköpositio	Moduulin yksittäinen kokonaisuus, lyhyt kuvaava tunnus

Esimerkki moduulitason kuvasta on esitetty kuviossa 21.



Kuvio 21. Robottikäden toisen linkin moottorinohjauksen kytkentäkaavio.

4.4 Kaapeleiden valinta

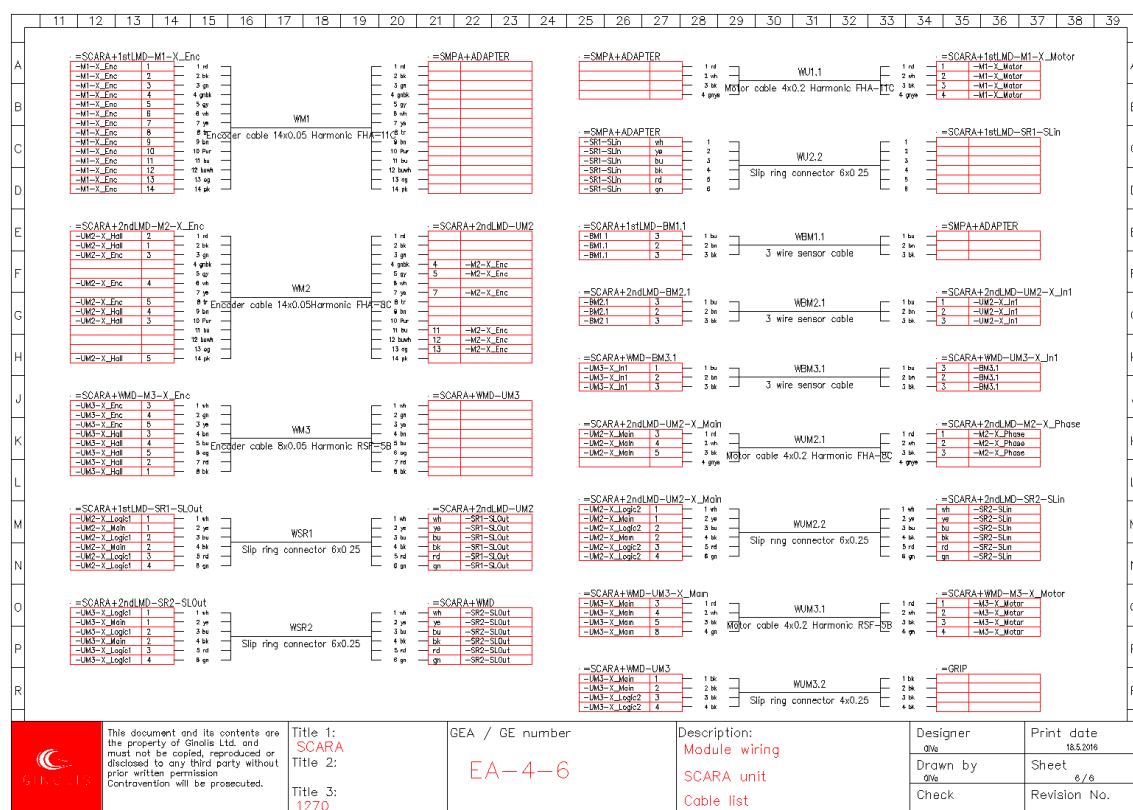
Kaapeleiden valinnassa on käytetty hyödyksi yrityksessä varastotavarana olevia kaapeleita. Tyypillinen instrumentointikaapeli on monijohtiminen Unitronic-FD -sarjan häiriösuojattu kaapeli. Kaapeleiden jännitteenalenemat on syöttöjohtojen osalta tarkistettu kaavan (1) mukaisesti ja tulokset esitetään liitteessä 3.

Sopivan kaapelin valinta on paitsi tekninen kysymys myös taloudellinen valinta. Yrityksen tulisi minimoida varastossa olevien kaapelityyppien lukumäärä. Tästä syystä olen valinnut useassa moottorinohjauspaikassa myös logiikkasignaalien

reitittämisen sinänsä logiikalle ylimitoitetun moottorikaapelin vahvuuden mukaan. Näin yksinkertaistetaan myös asentamista, käytettäessä yksittäistä kaapelia moottorin tehonsyötölle ja ohjaavalle logiikalle. Käytäntö on osoittanut, ettei tästä valinnasta aiheudu myöskään EMC-ongelmia.

Kaapeleiden oikosulkusuojaus on toteutettu syöttävän lähteen integroidulla oikosulkusuojuksella ja terminen suojaus on tehty ohjauskortille integroidulla virran mittauksella, jonka avulla PLC-ohjelma voi mukauttaa ohjelman ajamista tai antaa varoituksen käyttäjälle.

Työn edetessä sovittiin erillisen kaapelilistauksen sijaan projektin kaapeleiden luettelon toteuttamisesta CADS-suunnitteluohjelman tietokantasovelluksen toteuttamalla kaapeliluettelolla. Jokaisen moduulin sähkökuvien viimeiseksi sivuksi on asetettu moduulin kaapelien kytkentätiedot, kuvio 22 esittää robottikäsimo- moduulin kaapeliluettelon ja –kampauksen.



4.5 Osaluettelot

Osaluetteloiden osalta tässä työssä harmonisoitiin luettelon rakenne. Menneissä projekteissa luettelon formaatti on ollut vapaasti suunnittelijoiden valittavissa. Jatkossa käytettäväksi esitetään taulukon 13 mukaista formaattia.

Taulukko 13. BOM-luettelon parametrit

Parametri	Selite
Entity	Kokonaisuus, missä osa sijaitsee
Position	Sähköpositio
ID	Osan tunnus kuvissa
Definition	Osan käyttötarkoitus
Type	Osan tyyppi
Manufacturer	Osan valmistaja
Pcs.	Osien kokonaismäärä
X/GPA-code	Osan osto- tai oma valmistekoodi

Esimerkkinä esitetään taulukossa 14 robottikäsimuodulin BOM-luettelo.

Taulukko 14. Robottikäsimuodulin BOM-luettelo.

Entity	Position	ID	Definition	Type	Manufacturer	Pcs.	X/GPA-code
SCARA	1stLMD	M1	1st arm motor	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	1stLMD	BM1.1	1st arm motor home sensor	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	1stLMD	SR1	1st arm slipring	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	2ndLMD	UM2	2nd arm motor drive	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	2ndLMD	M2	2nd arm motor	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	2ndLMD	BM2.1	2nd arm motor home sensor	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	2ndLMD	SR2	2nd arm slipring	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	WMD	UMW	W motor drive	XXX	YYY	1	ZZZ
SCARA	WMD	MW	W motor	XXX	YYY	1	ZZZ

4.6 Jatkotoimenpiteiden ehdotuksia

Yrityksessä on käynnistymässä projekti sähköisen suunnittelunohjelmiston vaihtamiseksi sellaiseen, joka tukee mekaniikan Solidworks-ohjelmistoa. Kokeilu avaa useita suunnittelun tehostamiskohteita. Automaatiosuunnittelu voidaan integroida osaksi mekaniikkasuunnittelua. Automaation komponentit sijaitsivat samassa tietokannassa mekaniikan komponenttien kanssa. Tällöin tuotteen BOM-luettelo on aina ajan tasalla sekä automaatio-, että mekaniikkakomponenttien suhteen. Myös kaapelireititysten pilotointi nopeutuu jos se voidaan tehdä suoraan 3D-ympäristössä verrattuna nykyiseen tapaan rakentaa tuotteen 1:1 malleja, joihin kaapelointia asetellaan.

Robottisolulinjan tehon syöttöön olisi syytä käynnistää oma projektinsa, jolla etsittäisiin vakioratkaisu yrityksen tuleviin tuotemalleihin. Projektissa tulisi tutkia sekä sähköturvallisuuden että häiriönsiedon näkökulmista robottilinjan maadoittamista.

5 POHDINTA

Työssä on selvitetty robottilinjan sähköautomaation suunnittelun lähtötietoja. Yrityksen käyttöön on valmistunut tuotteen sähköautomaation systeemiarkkitehtuurin selvitys, joka on laadittu englannin kielellä. Tätä dokumenttia voidaan käyttää sisäisesti koulutettaessa yrityksen henkilökuntaa San Diegossa ja Kii-nassa.

Automaatiosuunnittelun tarpeisiin on laadittu perusohjeistus sähköistyksen suunnitteluun ja robottisolujen modulaariseen rakentamiseen. Sähkökuvien, kaapeli- ja osaluetteloiden piirtämiseen on luotu säännöt. Työn tulosten pohjalta on toteutettu seuraavan sukupolven tuotelinjan sähköistys.

Käytetty CAD-ohjelma osoittautui yllättävän kankeaksi tietokantansa osalta yrityksen tarpeisiin. Kuviin tehdyt päivitykset tallentuivat tietokantaan hämmästyttävän epäluotettavasti. Modulaariseen suunnitteluun ohjelmisto soveltuu yrityksen tarpeisiin nähden sangen vaatimattomasti.

Tuotantolinjan sähköistäminen irrallisella lattialla makaavalla ns. laptop-teholähteellä on haastavaa. Näissä teholähteissä on yleensä lähdeissään vain maa ja tasajännitejohtimet. Jos laitteessa joudutaan syystä tai toisesta käyttämään FE- tai PE-johdinta, jouduttaisiin se tuomaan laitteeseen omalla johtimella. Tutkittujen teholähdevaihtoehtojen joukossa oli vain muutama edes FE-johtimella varustettua mallia.

LÄHTEET

Beckhoff 2016. Viitattu 20.5.2016. <https://www.beckhoff.com>.

Black, B., Lopez, M. & Marcos A. 1993. Basics of Voice Coil Actuators. PCIM, July 1993, 44 - 46.

EtherCAT Technology Group 2016. EtherCat technical introduction and overview. Viitattu 10.5.2016. <https://www.ethercat.org/en/technology.html>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneturvallisuudesta 17.10.2006 2006/42/EY

Gieras, J. F. 2010. Permanent Magnet Motor Technology Design and Applications Third Edition. Roca Baton FL: CRC Press.

Ginolis Ltd. 2016. Ginolis Company Presentation.

Ikonen, E. 2013. Vaimenninkumin hystereesi. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinöörityö. Kone- ja tuotantotekniikka.

McNamara J. 2012. What's The Difference Between Voice Coil Actuators And Solenoids?. Electronic design. Viitattu 10.5.2016. <http://electronicdesign.com/components/what-s-difference-between-voice-coil-actuators-andsolenoids>

Movetec 2015. Komponenteista kokonaisuuksiin. Kurssimateriaali 16.4.2015.

Mäkinen, M. J.J. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava.

National Instruments Ltd. 2014. Controller Area Network Overview. Viitattu 10.5.2016. <http://www.ni.com/white-paper/2732/en/>

Sanyo Denki. 2016. Technical material. Viitattu 9.5.2016. https://www.sanyodenki.com/archive/document/product/cooling/technical_material_en.pdf

Sähköinfo Oy 2014. Pienoisjännitteisen toimilaitteen syötön mitoitus ja suojaus. Suositus 5/2012. Viitattu 9.5.2016. <http://www.sahkoala.fi>.

SFS KÄSIKIRJA 600-1. 2012. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 14119 2014. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Helsinki: SFS.

Teknillinen korkeakoulu 6.8.2008. Työohje Automaatio-ja systeemitekniikan laitos. AS-0.2230 Työ nro: 4 - Servojärjestelmän viritys. Viitattu 10.5.2016. http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/Labratyo4_2008.pdf

UL 1310 2014. Standard for Class 2 Power Units.

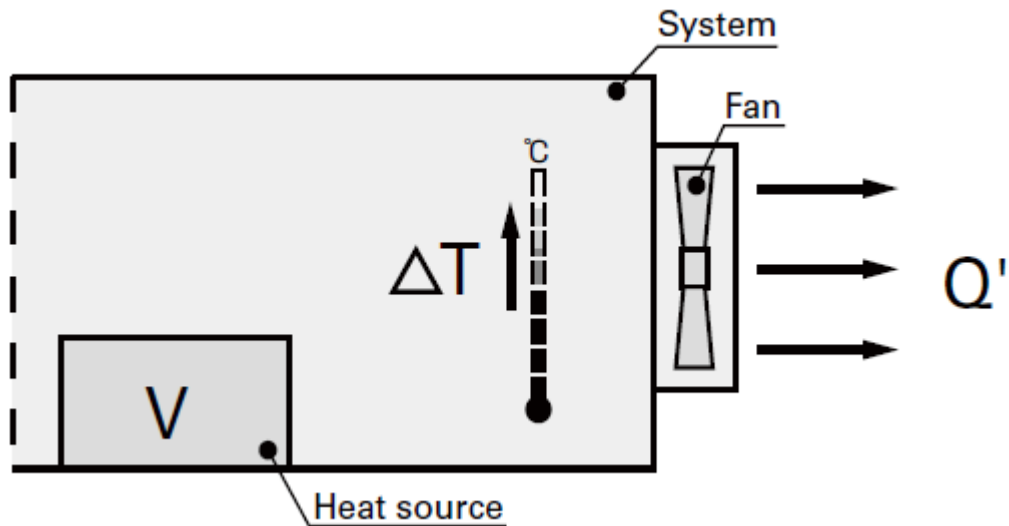
LIITTEET

Liite 1	Tuulettimen mitoitus
Liite 2	System description. (luottamuksellinen)
Liite 3	Tehon laskeminen (luottamuksellinen)
Liite 4	Ohjeistus sähkökuvien laatimiseen Ginolis Oy:ssä (luottamuksellinen)
Liite 5	Robottisolun sähkökuvat (Luottamuksellinen)

Robottisolun ohjausmoduulin tuulettimen mitoitus.

Sanyo Denki Ltd. yritys antaa teknisessä dokumentoinnissaan seuraavan proseduurin tuulettimen mitoitukseen.

1. Systeemiparametrien määrittäminen



$V = 36 \text{ W}$, komponenttien tehon kulutus laskettu liitteessä 5

$\Delta T = 30\text{K}$, suurin sallittu lämpötilan nousu. Huoneen lämmöstä (300K) pienimpään komponenteille sallittuun lämpötilaan 330K.

2. Kaavan (2) avulla lasketaan arvio tarvittavalle tuulettimen siirtämälle ilmamäärälle.

$$Q' = \frac{36\text{W}}{20 * 30\text{K}} \cong 0,06 \text{ m}^3/\text{min}$$

3. Tuulettimen valinta kaavan (3) avulla.

Otetaan huomioon häviöt ja varmuuskertoimet

$$Q = \frac{3}{2} * 0,06 \text{ m}^3/\text{min} = 0,09 \text{ m}^3/\text{min}$$

Valitaan tuuletin 109L0824H401 Sanyo Denki valmistajan San Ace long life sarjasta. Moottorin elinikä 100000h täyttää laitteen 10 vuoden elinkaaren (87600h). Tuulettimen maksimi ilmanvirtaus on 1,06 m³/min, joka on laskennallisesti ylimitoitettu mutta 24 VDC käyttöjännitteellä olevia tuulettimia ei löydy lähemmäs edellä kohdassa 3 laskettua tarvetta.

4. Valitun tuulettimen varmistaminen soveltamalla kaavoja (3) ja (2).

$$Q' = Q * \frac{2}{3} = 1,06 \text{ m}^3/\text{min} * \frac{2}{3} = 0,71 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta T = \frac{36W}{20 * 0,71 \text{ m}^3/\text{min}} \cong 2,5K$$

Ideaalisesti laskettuna lämpötila näyttäisi pysyvän hyvin kurissa moduulin sisällä.